

**METODOLOGÍA PARA LA MEJORA EN LA GESTIÓN DEL  
ABASTECIMIENTO DE PIEZAS DE REPUESTO EN VAJILLAS  
CORONA**

**ESTEFANÍA DUQUE PÉREZ**

**José Hernando Vanegas**  
**Administrador de empresas**



**UNIVERSIDAD EIA**  
**INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**ENVIGADO**  
**2016**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

# CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	8
1.1 Planteamiento del problema .....	13
1.2 Objetivos del proyecto .....	13
1.2.1 Objetivo General .....	13
1.2.2 Objetivos Específicos .....	13
1.3 Marco de referencia .....	13
2. METODOLOGÍA.....	31
3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	32
3.1 LEVANTAR LA INFORMACIÓN TÉCNICA E HISTÓRICA PERTINENTE DE LA OPERACIÓN.....	32
3.1.1 Recolección de las bases de datos .....	32
3.1.2 Funcionamiento de la PHO600 .....	33
3.1.3 Subsistemas de la PHO600 .....	36
3.1.4 Criterios adicionales .....	36
3.2 ADECUAR LAS METODOLOGÍAS APLICABLES AL CASO PHO600 ....	37
3.2.1 Gestión de activos.....	37
3.2.2 Gestión de riesgo .....	40
3.3 COMPARAR LA PROPUESTA CON LA SITUACIÓN ACTUAL.....	45
4. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES .....	50
5. BIBLIOGRAFÍA .....	52

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: ISO 55001 elementos con sus correspondientes sub-elementos (ISO 55001 elements with corresponding sub-elements).....	20
Tabla 2: Modelo con ajuste discreto (muestra) .....	39
Tabla 3: Costo de no tener (muestra) .....	40
Tabla 4: Frecuencia del repuesto (muestra) .....	41
Tabla 5: Estudio de confiabilidad .....	42
Tabla 6: Nivel de servicio .....	43
Tabla 7: Criterios de la programación lineal.....	45
Tabla 8: Primer escenario .....	46
Tabla 9: Modelo con el mismo presupuesto .....	47
Tabla 10: Segundo escenario .....	47
Tabla 11: Con restricción de presupuesto .....	48
Tabla 12: Tercer escenario .....	48

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

## LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1: Tendencia de inversión en el área de mantenimiento .....	9
Ilustración 2: Evolución de la eficacia del mantenimiento .....	10
Ilustración 3: Distribución de tipos de mantenimiento .....	11
Ilustración 4: Representación típica del proceso de gestión de activos .....	21
Ilustración 5: ISO 31000:2009 Proceso de administración del riesgo .....	22
Ilustración 6: Matriz de consecuencia de la falla .....	24
Ilustración 7: Prensa hidráulica PHO600 .....	34
Ilustración 8: Análisis en Statgraphics con distribución exponencial.....	41
Ilustración 9: Comportamiento lineal del repuesto 30000010364 .....	44

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Repuestos seleccionados .....	54
Anexo 2: Formulario de registro de mínimos de seguridad.....	55
Anexo 3: Comportamiento de los repuestos .....	56
Anexo 4: Plantilla de optimización .....	63

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

## RESUMEN

La metodología propuesta a continuación tiene como objetivo mejorar el sistema de abastecimiento de inventario de repuestos para el mantenimiento de las máquinas y equipos utilizados en la manufactura de la empresa Vajillas Corona, involucrando la participación de las áreas de Logística, Mantenimiento y Compras.

La meta es presentar una propuesta metodológica que logre aumentar la disponibilidad de los repuestos críticos y disminuir los niveles de obsolescencia, obteniendo como resultado final un uso eficiente del capital de trabajo de la compañía, además de ser una herramienta útil para la planeación de presupuesto del área; para esto se debe realizar un análisis extenso del estudio del arte y de esta forma determinar aquella o aquellas soluciones propuestas que mejor se adapten a las condiciones del caso Corona. El estudio es una prueba piloto, donde se emplea información de la prensa hidráulica de platos porcelana, la PHO600, para posteriormente obtener un modelo base, con resultados concretos tanto de la cantidad de piezas ideal que se deben mantener piezas y el riesgo económico asumido por la empresa con el nivel de inventario recomendado.

El proyecto será útil para Vajillas Corona porque permitirá establecer unas políticas tanto presupuestales como logísticas bien fundamentadas para todo el manejo de repuestos en el área de mantenimiento, buscando mejorar la disponibilidad de las piezas, confiabilidad de los equipos y aumentar el flujo de caja.

Además de ser aplicable para Corona, se espera que este proyecto sea aplicable a la cualquier industria que maneja inventario de maquinaria y mejore las prácticas en el sector; igualmente la herramienta propuesta puede ser útil para referenciación a personas que deseen realizar o consultar acerca de proyectos en este tema.

Palabras clave: repuestos, metodología de abastecimiento, disponibilidad.

## **ABSTRACT**

The proposed methodology aims to improve the supply system of spare parts inventory for the maintenance of the machines and equipment used in the manufacture of the company Vajillas Corona, the case involves areas like Logistics, Maintenance and Purchasing. The methodological proposal seeks to increase the availability of critical spare parts and reduce levels of obsolescence, obtaining as a final result an efficient use of working capital of the company and a tool that helps plan the budget of the area. To accomplish the goal there must be done an extensive analysis of the study of art and thus determine those proposed solutions that best meet conditions in Corona case.

The study is a pilot, where information from the hydraulic press porcelain dishes, the PHO600 is used to subsequently obtain a base model, with concrete results on both the amount of pieces that must be maintained and the economic risk assumed by the company with the recommended level of inventory. The project will be useful for Vajillas Corona because it will establish both budgetary policy and logistical well-grounded for the entire management of spare parts in the maintenance area, seeking to improve the availability of parts, equipment reliability and increase cash flow. Besides being useful for Corona, this project is expected to be applicable to any industry that handles inventory of machinery, and improve practices in the sector; the proposed tool can also be useful for referencing people who wish to do or inquire about projects in this area.

Keywords: spare parts, methodology supply availability.

## 1. INTRODUCCIÓN

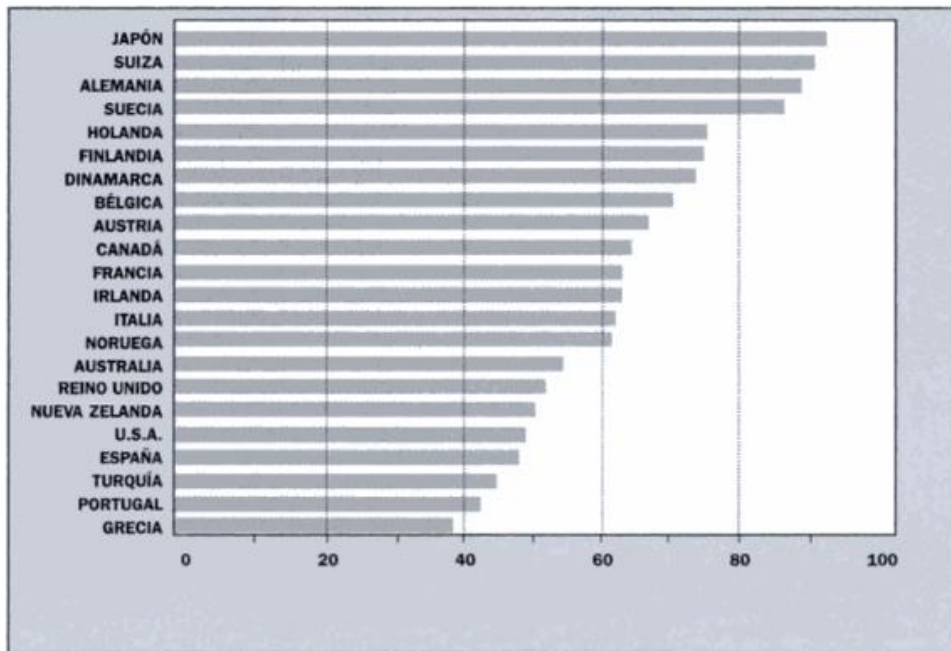
Uno de los grandes retos para la industria Colombiana de la actualidad, es el adecuado manejo de la información vía las nuevas tecnologías; esta oportunidad de mejora ha impulsado a las organizaciones a implementar y adoptar el uso de sistemas de información en las operaciones del día a día, buscando la efectividad en todos los niveles de las organizaciones, desde las operaciones más básicas a nivel operativo hasta la toma de decisiones y la administración general, logrando un mayor valor de las empresas.

Es importante tener presente que nuestro país cuenta con una economía abierta, lo que estimula a las empresas a incrementar su productividad en todas las actividades de la organización, ya que en el entorno exterior se está a la vanguardia de la mejora continua. En el sector de la producción de bienes, el mejoramiento continuo tiene diferentes oportunidades y ángulos para ser abordado, uno de estos es trabajar desde el área de mantenimiento para aumentar el nivel de servicio de las empresas.

En las siguientes gráficas se puede evidenciar como ha sido la tendencia en nuestro entorno respecto a este tema.

La primera grafica mide la optimización de los resultados de mantenimiento y el costo de inversión realizado en el mismo, a nivel mundial, la gráfica se encuentra en base 100.



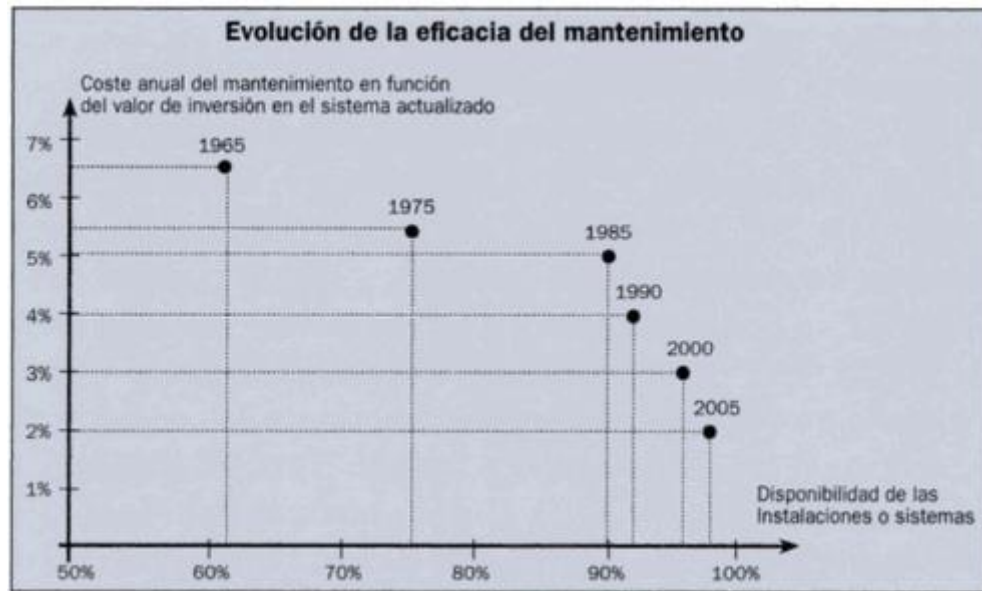


**Ilustración 1:** Tendencia de inversión en el área de mantenimiento

**Fuente:** (Gonzales, 2005)

La segunda grafica expone el comportamiento y la evolución del mantenimiento a través de los años.

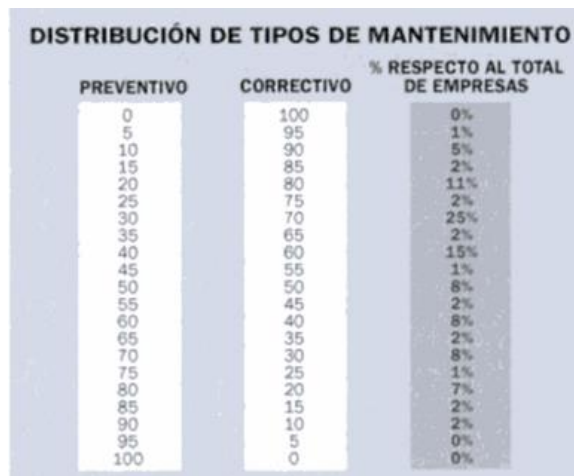
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.



**Ilustración 2:** Evolución de la eficacia del mantenimiento

**Fuente:** (González, 2005)

Pero al mismo tiempo encontramos que a pesar de estos avances a nivel mundial, países como España al 2005, presentaban que el 72% de sus empresas, más de la mitad de los mantenimientos eran correctivos, evidenciando que la planeación para el abastecimiento de piezas de repuesto se dificulta por su demanda incierta en la gran mayoría de los casos.



**Ilustración 3:** Distribución de tipos de mantenimiento

**Fuente:** (González, 2005)

Es por esto por lo que darle un buen uso a las TIC, en conjunto con un buen trabajo en el mantenimiento integrado es indispensable para mantener la industria colombiana en un nivel competitivo.

El área logística es la encargada de garantizar una alta disponibilidad de piezas de repuesto al menor costo posible, y asegurar el funcionamiento continuo de la producción; pero es bien conocido que el manejo de inventario de repuestos difiere de los inventarios para la manufactura como lo es la materia prima, el producto en proceso y el producto terminado (Kennedy, Patterson, & Fredendall, 2002), típicamente la administración de estos es subjetiva e imprecisa, ya que están basadas principalmente en las recomendaciones de los proveedores de los equipos y finalmente, los parámetros de la planeación son decisiones de la administración; en un estudio realizado por Chobbar and Friend en el 2004, de los 175 encuestados, 152 estaban utilizando metodologías con puntos de re-orden y aproximadamente la mitad de estos se encontraban insatisfechos con la implementación (Ghobbar & Friend, 2004).

La empresa Vajillas Corona presenta las mismas inconformidades que la industria a pesar de haber adoptado tecnologías de la información, para solventar este tipo de problemas; para esta organización la migración de varios sistemas de información a uno solo (SAP) ha implicado cambios tanto favorables como desfavorables. En el área de mantenimiento y logística, la implementación presentó muchas mejoras como, la sincronización de todas las actividades de

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

mantenimiento preventivo, la planeación de las órdenes de compra para los repuestos periódicos y el registro de los seguimientos de mantenimiento correctivo que se realizan, además de la actualización en tiempo real de los inventarios; pero no ha sido suficiente para mejorar el nivel de disponibilidad ni los costos asociados a esta operación. Se siguen presentando muchas oportunidades de mejora, ya que la administración de los distintos inventarios es la misma para todos, tanto para repuestos como para materiales de manufactura. Es por esto que existe una necesidad latente de establecer políticas claras y bien estructuradas para la adquisición y administración de repuestos, pues hoy no se está cumpliendo el objetivo principal del área.

A partir de los problemas mencionados anteriormente, se enumeran los síntomas que se están resaltando en la empresa para el caso de estudio:

- **Los sobre costos de la operación:** Con el sistema contable que se manejaba hasta el año 2015, la compra de repuestos de baja rotación generó un gran problema asentable, ya que al realizar la compra de un repuesto, inicialmente, este se registra como un activo, el cual se valoriza para reflejar los efectos de la inflación durante el tiempo que permanezca custodiado en la bodega de materiales, una vez está en uso lleva al costo de la operación, es por esto que al momento de disponer de una de las piezas de inventario, la eficiencia local del área se veía afectada por instalar repuestos más “costosos” que en el mercado, situación que estimuló a los técnicos y facilitadores a comprar repuestos ya existentes en bodega, por fuera de la empresa, y así no afectar los indicadores

Hoy en día bajo la custodia logística existe inventario de repuestos de más de 12 años de antigüedad, esto debido a que en muchas ocasiones no se realizó el debido análisis a los repuestos que se ordenó, y no han sido necesarios hasta la fecha de hoy.

- **Altos inventarios:** En el último inventario cíclico realizado en febrero del 2016, se encontró que el inventario ha crecido en un 100% comparado con el mismo periodo del año anterior y continúa creciendo; es aquí donde se ve la ausencia de planeación para el abastecimiento de inventario, ya que no se contemplan criterios como histórico de la demanda, criterio del técnico del equipo y costo de mantener el inventario.
- **Baja disponibilidad:** Con el cambio de sistema de información, algunas referencias de baja rotación fueron eliminadas de la nueva base de datos, referencias que hoy se están necesitando para el mantenimiento o reparación de los equipos, creando entonces tiempos de avería.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

- **Bajo flujo de caja:** Al no tener políticas adecuadas para el abastecimiento de piezas de mantenimiento, se realizan ordenes de repuestos innecesarios, o con mucho tiempo de antelación para el momento de ser necesitado; una inapropiada inversión del capital lleva a disminuir la liquidez de la empresa como se evidencia hoy, donde se tiene más de \$1,000,000,000 COP en inventario y se estima que una cantidad significativa de estos, no debería estar almacenada o ya es obsoleta.

Con lo mencionado anteriormente vemos que se necesita implementar una metodología que tenga en cuenta todos los factores críticos para la adquisición de un repuesto y logre determinar si este debe ser custodiado en las instalaciones durante un periodo de tiempo o si en realidad la pieza no es imprescindible y se puede obtener fácilmente sin perjudicar la operación de la planta.

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Es necesario establecer políticas administrativas para gestionar de forma adecuada la administración de los inventarios de las piezas de repuesto en Vajillas Corona.

## **1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.2.1 Objetivo General**

Proponer un método para soportar la decisión más apropiada de compra de inventario para repuestos en vajillas corona, caso PHO600.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Levantar la información técnica e histórica pertinente de la operación
- Adecuar las metodologías aplicables al caso PHO600
- Comparar la propuesta con la situación actual

## **1.3 MARCO DE REFERENCIA**

A continuación, se presentará una serie de investigaciones y pruebas pilotos realizados en años anteriores, con el fin de resolver la misma o similar necesidad

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

que presenta Vajillas Corona actualmente, el adecuado manejo de inventarios de repuesto:

- **Unión de la optimización de inventario de piezas de repuesto y políticas de mantenimiento usando algoritmos genéticos (Joint optimization of spare parts inventory and maintenance policies using genetic algorithms)**

El trabajo afirma que la mejor manera de manejar el mantenimiento y el inventario de piezas de mantenimiento es haciéndolo simultáneamente por lo que propone una solución para el problema de que los inventarios no logren satisfacer su demanda de mantenimiento en muchas de las organizaciones industriales.

Esto se logra por medio de una simulación de optimización usando algoritmos genéticos propuestos, que permiten la unión del mantenimiento preventivo y la creación de políticas para el sistema de manufactura en el sector automotriz.

Este proyecto identificó los mejores parámetros para la simulación demostrando que estos valores disminuían el costo del sistema de manufactura. En primer lugar se realizó el desarrollo del modelo de simulación discreta, luego de esto se procedió con la elaboración de los algoritmos genéticos para optimizar los parámetros del modelo de las políticas de inventario y por último se integró el paso uno con el dos, obteniendo como resultado que el costo total anual se puede reducir en un 53%, mediante el aumento del throughput; pero la optimización debe garantizar el bajo costo, bajo producto en proceso y alta rentabilidad, por lo que los investigadores continúan el trabajo en desarrollar una simulación de múltiples objetivos que satisfaga los criterios ya mencionados (Ilgin & Tunali, 2007)

- **Optimización de la administración de piezas de repuesto basado en el riesgo (Risk based optimisation of spares inventory management)**

En el 2011 Ujjwal Bharadwaj, Vadim Silberschmid y John Wintle, desarrollaron una metodología para la optimización en la administración del inventario de repuestos basada en el riesgo; este trabajo es un caso aplicado a la vida real, elaborado con la información y acompañamiento de Shell Internacional Trading and Shipping Company Limited (STASCO).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

La metodología entiende por riesgo, la probabilidad que existe de que haya un agotado de una pieza de repuesto necesaria y la consecuencia de este evento. Bajo un análisis de probabilidades y consecuencias (FMECA), conjunto con el criterio de los ingenieros de la empresa, se analizó y se midió cuantitativamente estos riesgos.

El trabajo se divide en dos secciones, en la primera se obtuvieron los valores base a ser parametrizados, estos fueron logrados a partir de la combinación de criterios como: el histórico de la demanda de cada uno de las referencias, la opinión de los expertos y las recomendaciones de los proveedores, y por medio de varios procedimientos para el manejo de la información, como por el ejemplo el método bayesiano, se estableció el punto de inicio.

En la segunda parte se realizó la optimización de estos resultados base, teniendo en cuenta otros factores influyentes, como la capacidad de almacenamiento, obsolescencia del inventario y limitaciones en el presupuesto.

Los resultados obtenidos se presentaron en 3 métodos de funcionamiento, resueltos en Solver de Microsoft Excel, así:

- ✓ Minimización total del riesgo: cuando se simula con un presupuesto fijo como la restricción, los resultados después de la optimización el inventario de cada una de las referencias cambia notablemente y a lo sumo, este disminuye; teniendo en cuenta que el riesgo aumenta, garantizando en un 100% la probabilidad de tener agotados
- ✓ Minimización total del costo: método utilizado cuando el presupuesto está sujeto a mantener un nivel mínimo tolerable de inventario, según los criterios mencionados con anterioridad; con una tolerancia del 87%, se redujo el presupuesto del inventario en £ 118,000; pero al igual que el método anterior, existe un 100% de probabilidad de presentarse agotados.
- ✓ Minimización total del valor del riesgo mediante un nivel de tolerancia de no satisfacer la demanda: este método agrega una probabilidad de tolerancia aceptable de agotados con el fin de disminuir los altos riesgos de los métodos anteriores, el nivel de tolerancia utilizado para garantizar satisfacer la demanda fue del 70%, esto método optimizó el costo en £ 71,000 (Bharadwaj, Silberschmidt, & Wintle, 2011)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

- **Unión de la optimización de piezas de repuesto y las políticas de mantenimiento para múltiples objetos idénticos sujetos a fallas silenciosas (Joint optimization of spare parts ordering and maintenance policies for multiple identical items subject to silent failures)**

El artículo se enfoca en los dos principales problemas del abastecimiento de materiales de repuesto, que son, la cantidad y el momento indicado a ordenar un repuesto, teniendo como restricción la frecuencia con la que se realiza el mantenimiento de los equipos y el número de piezas a reemplazar en la inspección.

El caso es aplicado a una refinería de petróleo, específicamente a las trampas de vapor que se utiliza en el proceso productivo, estos repuestos tienen una alta dificultad para predecir un fallo y adicionalmente el mantenimiento preventivo que se realiza es anual o inclusive un mayor tiempo. El objetivo del trabajo es desarrollar un modelo que permita definir las políticas de inventario (cuando y cuanto ordenar). Para esto se definió el sistema y cada una de las variables involucradas, se utilizó métodos para la optimización de cada una de las variables que definían el sistema, tales como inventario total esperado en un ciclo completo de inventario; el costo total esperado en un ciclo de inventario; el costo total esperado en el ciclo de mantenimiento; el costo total esperado por unidad; entre otras, y luego se determinó la ecuación de mantenimiento e inventario óptimo para situaciones del deterioro de los puestos tanto para políticas de inventario continuas como para periódicas. Además, se comprueba con el análisis de sensibilidad que se realizó por medio de investigación numérica, que el modelo es un modelo robusto, es decir las variables de entrada permiten obtener resultados que se acercan a la realidad (Panagiotidou, 2014).

- **Mejoramiento en el control de inventario de piezas de repuesto en una tienda de reparaciones (Improving spare parts inventory control at a repair shop)**

Este estudio desarrolló un modelo y algoritmo para mejorar el análisis de los inventarios de una empresa de piezas de repuestos, perteneciente a Fokker Services, con el fin de superar las dificultades que presentan los modelos estocásticos utilizados para manejar el inventario.

El modelo a diferencia de otros con aplicación similar, analiza el abastecimiento no solo de las piezas de repuestos individualmente, sino

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.



en conjunto, es decir las piezas que son necesarios para hacer una reparación completa, garantizando entonces que la reparación se pueda realizar y no falle por la ausencia de una sola pieza.

Se realizó una modelación del inventario basados en la literatura de ATO (assemble to order), utilizando programación binaria para representar la información de inventarios, y algoritmos eficientes que median los costos, obteniendo como resultado, acercamientos al manejo óptimo de los tamaños de inventarios para la empresa.

Para este caso de estudio, se manifiesta que la implementación del método puede mejorar el control de los inventarios y al mismo tiempo estar alineados con las decisiones administrativas de los TATS (turn around times) en los componentes de mantenimiento para tener los mejores acercamientos (van Jaarsveld, Dollevoet, & Dekker, 2015)

- **Eficiente administración de piezas de repuesto de aviones, bajo una demanda incierta (Efficient aircraft spare parts inventory management under demand uncertainty)**

Este artículo publicado en el 2014 está orientado a la mejora de la planeación de inventario de repuestos de aviones, ya que el mantenimiento de estos representa un 13% de los costos totales de la operación para esta industria. El objetivo principal es minimizar los costos de esta actividad mientras se maximiza la productividad, basados en dos criterios específicos, que son el tiempo y la cantidad.

Para el desarrollo del modelo se parte por determinar la distribución de la falla la cual tiene como muestra toda la información de los proveedores o los datos que se obtienen de las actividades de mantenimiento (se asume que los repuestos siguen una distribución normal), a partir de esto se incluyen factores como el ciclo de vida de los productos (su envejecimiento) y las cantidades instaladas, como factores determinantes para un inventario sobredimensionado o sub-dimensionado, traduciéndose en un costo total. Una vez determinado los principales componentes del modelo se utiliza programación no lineal basada en métodos numéricos, iteraciones y modelación algebraica para plantear el modelo que tiene como función objetivo la minimización del costo esperado en piezas de repuesto para el mantenimiento, además de desarrollar y proponer un modelo el cual tiene en cuenta los tiempos esperados de almacenamiento.

Los resultados obtenidos al implementar la teoría propuesta evidenciaron que el primer modelo (básico) puede llegar a reducir los inventarios desde

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

un 5,68% hasta un 98,03%, y el segundo modelo (mejorado) desde un 45,93% hasta un 93,06%; adicionalmente se realizó un análisis de sensibilidad donde se midió como afecta la distribución de la falla en la función objetivo (cantidad a ordenar, costo total, tiempo de llegada del repuesto), primero se cambió la media del tiempo entre fallas (MTTF) y dejando las demás variables constantes, se encontró que esta variación únicamente afecta a la cantidad a ordenar y el costo total, no afecta al tiempo de llegada de la pieza y luego se calculó el impacto de la desviación estándar de la muestra de las piezas en la función objetivo, confirmando que a medida que esta aumenta el nivel de inventarios incrementa por lo que el costo total también aumenta en ambos casos, al mismo tiempo es interesante resaltar que la cantidad optima a ordenar en el primer ejemplo (básico) disminuye y en el segundo (mejorado) aumenta a medida que la desviación aumenta, esto es debido a que no se tiene en cuenta el tiempo entre la última falla y la media de las fallas. Para finalizar el artículo recomienda hacer un análisis más detallado sobre la distribución de probabilidad que sigue cada uno de las piezas de repuesto y además el estudio realizado fue sobre un horizonte fijo, por lo que se puede mejorar con T (tiempo) variable (Gu, Zhang, & Li, 2015).

- **Un modelo estocástico para el manejo conjunto de inventario de piezas de repuesto y un plan de mantenimiento optimizado (A stochastic model for joint spare parts inventory and planned maintenance optimisation)**

El artículo propone realizar una optimización para el nivel de inventario a mantener y el intervalo de tiempo entre mantenimientos preventivos (MP), estableciendo como las variables de decisión, el tiempo entre las ordenes, tiempos entre MP y cantidades en la orden. Debido a la naturaleza de las fallas en los equipos, se decidió desarrollar el estudio con un modelo de costos estocástico de las piezas y del mantenimiento, situando un horizonte de tiempo definido, y al mismo tiempo derivando y utilizando un algoritmo de enumeración con programación dinámica que permita encontrar la adecuada solución. La cantidad de fallas ocurridas y de fallas detectadas antes de ocurrir un fallo en el mantenimiento preventivo se determinan con el concepto de tiempo de retardo y se maneja para determinar las probabilidades de ocurrencia; para la cantidad de repuesto, la política de inventario está gobernada por la necesidad de piezas en el mantenimiento.

Usando un ejemplo numérico para demostrar el modelo se encontró que el manejo de niveles de inventario y el mantenimiento están altamente relacionados y que estos deben ser manejados en conjunto y no por

separado y al mismo tiempo se podrían optimizar; también se concluyó que la metodología de programación dinámica podría no ser la mejor herramienta cuando ocurren muchas fallas en un día, ya que los cálculos tardarían demasiado tiempo, pero en este caso es una buena forma de abordar el problema ya que se espera que no ocurra una gran cantidad de eventos por día (Wang, 2012).

Basados en las diferentes alternativas que se evidencian para abordar el problema se puede afirmar que la programación lineal es una de las metodologías más utilizadas y que ha presentado resultados positivos, optimizando el nivel de inventarios, además de considerar las diferentes restricciones del sistema como lo es el riesgo, por ejemplo. Variables como la probabilidad de no satisfacer la demanda, el costo de mantener, cuando comprar y cuanto comprar, son todas evaluadas por los diferentes autores, pero nunca puestas en conjunto en el mismo trabajo o definidas de la misma forma; por ejemplo, el riesgo, algunos autores lo definen como una variable lineal, donde a mayor cantidad de repuesto es menor el riesgo asumido, pero para nuestro caso esta variable está determinado por la probabilidad que ocurra una avería en un tiempo determinado y por la probabilidad de que la cantidad en inventario satisfaga esa necesidad en cuestión. Adicionalmente se presentan supuestos o conceptos que no se realizarán, como el comportamiento de los repuestos, donde se asume que siguen una distribución normal, o el uso de algoritmos genéticos para la modelación, al igual que la simulación discreta, y el tiempo entre mantenimientos preventivos, todos estos no son relevantes para nuestro análisis.

#### ○ **ISO**

Paralelo a las metodologías mencionadas para el análisis matemático es necesario definir una estructura idónea para abordar de forma correcta del manejo de estos inventarios, es por esto que se tiene como referencia la ISO 55001 y la ISO 31000; estos estándares a nivel internacional, recomiendan la importancia que se le debe atribuir a los activos en su administración estratégica y la relevancia que tiene el óptimo manejo del riesgo en cualquier tipo de compañía respectivamente; dado que el estudio que se está realizando en Corona se encauza al correcto manejo de activos (inventario de repuestos) y está basado en el riesgo asumido a la no disponibilidad, es importante abordar esta teoría.

En el 2014 la organización internacional de estandarización publicó la norma para la administración de los activos la cual derivó de la PAS 55, esta busca “maximizar el retorno de la inversión de los bienes físicos en una compañía, mientras se garantiza al mismo tiempo una operación segura en un entorno responsable” (Sanford, 2015).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

La norma propone una lista de 28 requerimientos que se deben de cumplir para tener un sistema que administre y optimice todos los bienes físicos de la empresa. Además, establece 7 grandes etapas que se deben abordar para poder implementar la norma, a continuación, se presentan:

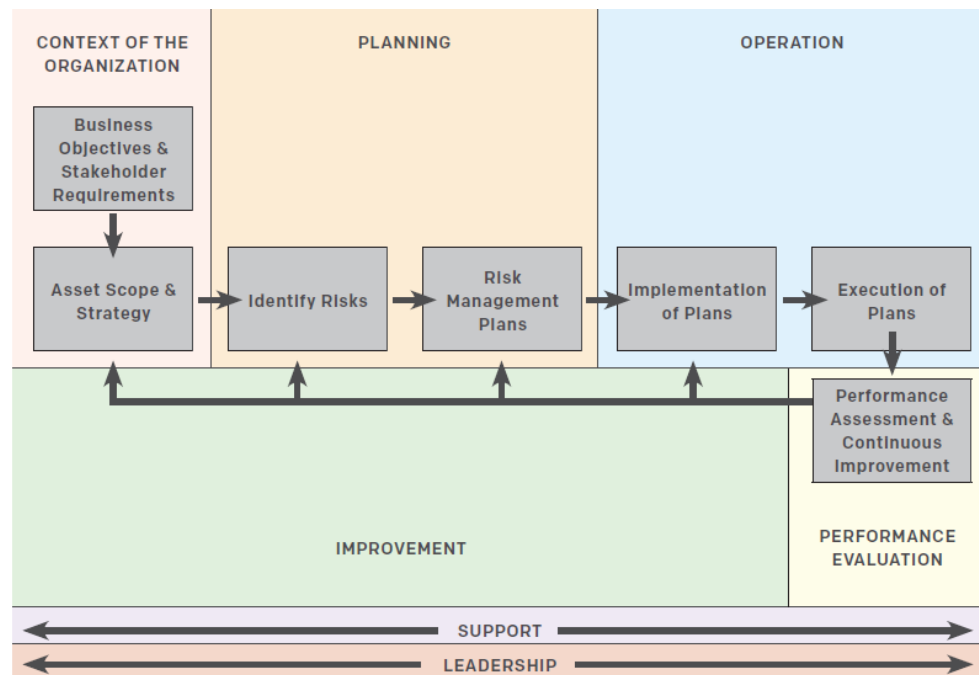
Contexto de la organización	Liderazgo	Planeación	Soporte	Operación	Evaluación del comportamiento	Mejoras
*Objetivos organizacionales  *Requerimientos de los accionistas  *Estrategia de administración de activos  *Ámbito de aplicación de la administración de activos	*Compromiso de liderazgo  *Adminsitración de activos  *Roles, responsabilidades & autoridades	*Riesgos  *Oportunidades	*Recursos  *Competencias  *Conciencia  *Requerimientos de información  *Documentación	*Planeación, Implementación & Control  *Administración del cambio  *Tercerización	*Monitoreo, medición, análisis & evaluación  *Auditoria interna  *Revisión de gestión	*Actividades de no conformidad y acciones correctivas  *Acciones preventivas  *Mejora continua

**Tabla 1:** ISO 55001 elementos con sus correspondientes sub-elementos (ISO 55001 elements with corresponding sub-elements)

**Fuente:** Elaboración propia basada en (Sanford, 2015)

La Planeación es una de las etapas que el manual resalta como esencial para la buena administración de sus activos, durante esta se establecen objetivos que puedan ser medibles, monitoreados, comunicados, y actualizados durante la operación de la compañía, claramente alineados con los objetivos del negocio, permitiendo observar tanto oportunidades como riesgos de la compañía.

La siguiente imagen expone todo el proceso de la gestión de activos incluyendo la relación de cada una de las áreas ilustradas anteriormente:



**Ilustración 4:** Representación típica del proceso de gestión de activos

**Fuente:** (Sanford, 2015)

Claramente se evidencia en la ilustración 5 que la planeación tiene una alta correlación con la administración del riesgo, pues este debe de tener manejo efectivo para prosperar y alcanzar los objetivos organizacionales, tal como lo establece la ISO 31000, del 2009. Esta guía aconseja la implementación de la administración del riesgo, afirmando que es uno de los valores fundamentales que debe tener cualquier compañía independiente de su tamaño, pues todas están expuestas al riesgo en todo su ciclo de vida. Con este manual se puede abordar de forma confiable y segura el manejo del riesgo.

En primer lugar, se debe tener claro que se entiende por riesgo para este contexto:

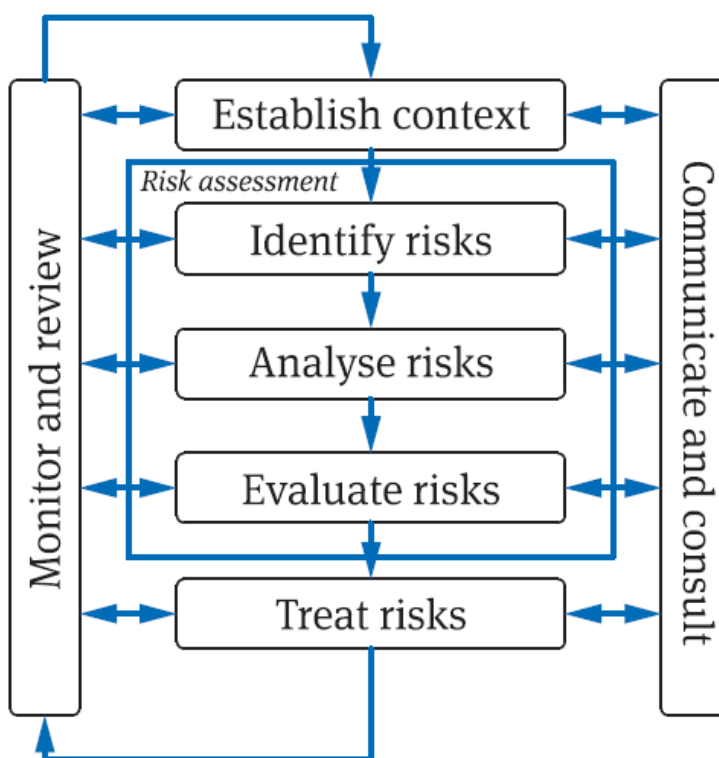
Riesgo: “efecto de la incertidumbre en los objetivos” (ISO 31000:2009, Clause 2.1)

Donde el efecto es el resultado de algo esperado, y los objetivos pueden ser de diferentes niveles, como estratégicos, de proyectos, de procesos y/o

para toda la organización, enfocados en diferentes aspectos como financieros, de seguridad, de salud y de metas ambientales.

La incertidumbre es un estado del riesgo donde hay una carencia de información, de conocimiento o entendimiento de un evento, con sus consecuencias y posibilidad de ocurrencia; este elemento clave se representa por ejemplo para el caso estudiado, donde la variabilidad del comportamiento natural del repuesto carece de información precisa de su demanda para condiciones de trabajo específicas dentro de la organización y adicionalmente existe un alto rango de posibilidades donde hay cambios a través del tiempo.

Según la guía de la ISO, el proceso adecuado para definir y manejar el riesgo es el siguiente (ISO, 2015):



**Ilustración 5:** ISO 31000:2009 Proceso de administración del riesgo

**Fuente:** (ISO, 2015)

Basados en esta guía se resalta en la relevancia que tiene el proyecto, ya que busca la correcta gestión de activos (inventario de repuestos), mediante un proyecto con objetivos financieros, midiendo el riesgo asociado. Es a partir de esta filosofía que abordamos la necesidad en el área de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los repuestos, incluso con su compleja predicción en la demanda.

Es relevante mencionar los métodos más usados que se encontraron en el estudio del arte del proyecto y las cuales son aplicables a nuestro caso en específico.

- **Análisis de criticidad**

Esta metodología permite establecer jerarquías o prioridades entre sistemas, instalaciones, procesos, equipos y elementos de un equipo; el resultado final es una lista ponderada que va, desde el elemento más crítico hasta el menos crítico.

¿Qué elementos se deberían tomar en cuenta para realizar un análisis de criticidad? Cuantitativamente a la hora de medir el impacto global generado, los factores más influyentes son la frecuencia de la falla y la consecuencia. El primero se refiere al tiempo que transcurre entre las fallas o el número de eventos por año; y el segundo factor son las consecuencias de la falla, este último se refiere básicamente a 5 criterios principales con los que se mide la consecuencia, los cuales se enumeran a continuación:

1. El impacto ambiental
2. El impacto a la producción
3. El impacto al personal
4. El impacto a la población
5. El impacto a la instalación.

Una vez se cuantifique la información mencionada anteriormente se determina la criticidad con la siguiente formula.

**Criticidad = Frecuencia x Consecuencias**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

Adicionalmente se utiliza la matriz por consecuencia de la falla que permite determinar el nivel de criticidad con el valor obtenido.

El eje vertical es representado por la frecuencia de la falla que va de uno a cinco y el eje horizontal es la suma de las consecuencias, a continuación, se presenta la matriz estándar:

Categoría de Frecuencia	5	M	M	A	A	A
	4	M	M	A	A	A
	3	B	M	M	A	A
	2	B	B	M	M	A
	1	B	B	B	M	A
	Categoría de Consecuencias	1	2	3	4	5

**Matriz de Criticidad**

B

 Criticidad Baja  
color verde

M

 Criticidad Media  
color amarillo

A

 Criticidad Alta  
color rojo

En la Matriz de Criticidad se identifican con letras los niveles de criticidad:

**Ilustración 6:** Matriz de consecuencia de la falla

**Fuente:** (Sistema de confiabilidad Operacional, 2014)

Una de sus principales ventajas de esta metodología es facilitar la toma de decisiones más acertada y efectiva en la gestión de mantenimiento, inventarios, la ejecución de proyectos de confiabilidad y/o disponibilidad, además en la gestión de riesgos (Sistema de confiabilidad Operacional, 2014)

#### ○ **Programación lineal**

Esta metodología tiene como objetivo maximizar o minimizar el valor objetivo (costo de la operación). En esencia optimiza las variables de una función  $f(x)$ , teniendo en cuenta las restricciones del sistema.

Existen tres categorías para este método, la programación lineal, programación no lineal y programación de enteros.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.



En nuestra situación debido a que la función objetivo  $f(x)$  y las restricciones son funciones lineales en las variables de decisión, aplica la primera categoría (Diewert, 2013).

Formulas

$$Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$x_j > 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

- **Estudio de confiabilidad**

Como afirma Gutiérrez & De la vara “La confiabilidad es la característica de calidad que mide la duración de los productos, los cuales deben operar sin fallas durante un tiempo especificado para ser confiables”.

Un estudio de confiabilidad es útil porque se utiliza para darle apoyo a la planeación de los recursos (presupuesto, por ejemplo); este tiene como objeto determinar el tiempo de vida de un producto, en unidades de tiempo como minutos, días, meses, y también en ciclos, cantidad de piezas a producir o distancia recorrida, entre otros. A partir de esto se pueden resolver preguntas como el tiempo hasta el cual se espera que falle un producto, el tiempo al cual se espera sobreviva y la propensión que tiene a fallar el producto en un tiempo dado.

Adicionalmente, es importante mencionar que al realizar estudios de confiabilidad los registros de los momentos de falla no son exactos, en muchas ocasiones se puede presentar un registro donde nunca hubo fallas, o donde solo se tiene conocimiento que hubo una falla antes de cierto tiempo, otro escenario posible es una falla en un intervalo de tiempo determinado, por lo que estos datos se les asigna el nombre de datos censurados, y se considera información incompleta, a continuación se enumera los tipos de censura:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

- Censura por la derecha: se divide en dos, tipo I y tipo II, el primer caso es cuando en el tiempo determinado de la prueba, el elemento no presentó falla; y el tipo II es cuando el estudio de fallas se realiza hasta cierta cantidad de unidades de falla, por lo que no hay un tiempo definido de la prueba.
- Censura por la izquierda: se presenta cuando al comenzar el análisis, algunas de las piezas ya han fallado, pero no se tiene conocimiento de cuando ocurrió.
- Censura por intervalo: este caso se da en ensayos donde no hay una inspección continua de los fallos, sino intervalos determinados de revisión.
- Censura múltiple: cuando los tiempos de fallo son diferentes en el mismo estudio de confiabilidad (Gutierrez & De la Vara, 2009)

Por medio de un estudio de confiabilidad en los repuestos de la PHO600 es posible determinar el riesgo aproximado que se está asumiendo al tener o no un repuesto determinado en un momento específico.

#### ○ **¿Qué es mantenimiento?**

Según la RAE el mantenimiento se define como: “Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente”. Además, en varias fuentes bibliográficas se encontraron definiciones similares como: “Lo que hay que hacer para que las cosas funcionen correctamente o, en su defecto para que las averías duren lo menos posible” (de Bona); “La función encargada de asegurar la disponibilidad de los equipos de producción mediante la ponderación de las imperfecciones del patrimonio tecnológico invertido” (Souris, 1992).

El mantenimiento se divide en:

- Mantenimiento preventivo: “Es el que tiene por misión un nivel de servicio determinado de los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno” (García, 2003)
- Mantenimiento correctivo: se entiende como todas las actividades necesarias para restablecer el servicio de un equipo que ha

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

detenido su funcionamiento debido a la falla, deterioro o ausencia de alguna de sus piezas.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente se evidencia la necesidad de dirigir el análisis para los casos de mantenimiento correctivo, en estos eventos la demanda de repuestos es incierta, y es de vital importancia actuar sobre la logística de estas piezas para garantizar la disponibilidad de los repuestos.

## ○ **Los inventarios**

Los inventarios son la cantidad de activos fijos o bienes (materias primas, provisiones, componentes, producto en proceso y productos terminados) que existen en un momento determinado a lo largo del canal de producción y canal logístico de una empresa. (Fundación iberoamericana de altos estudios profesionales, 2014).

### ○ **Tipos de inventario**

**a)** De acuerdo a las características físicas de los inventarios se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- Inventarios de materia prima o insumos, son todos los materiales que son utilizados para la elaboración de nuevos productos, pero aún no han sido modificados por el proceso productivo de la empresa.
- Inventarios de materia semielaborada o productos en proceso, se considera a los elementos que han sido modificados por el proceso productivo de la empresa pero que aún no han pasado por toda la cadena de valor, es decir aún no son considerados aptos para la venta; estos se registran contablemente de acuerdo a la cantidad de mano de obra, materiales y gastos de fabricación que recaen sobre el producto mismo.
- Inventarios de productos terminados, se definen como aquellos los productos listos y aprobados por los controles de calidad para ser ofrecidos en el mercado.
- **Inventarios de materiales para soporte de las operaciones, o piezas y repuestos:** Son los productos que, aunque no forman parte directa del proceso productivo de la empresa, es decir no serán colocados a la venta, hacen posible las

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

operaciones productivas de la misma, estos productos pueden ser: maquinarias, repuestos, artículos de oficinas, etc.

**b)** De acuerdo a la función que cumplen se enumeran los siguientes inventarios:

- Inventario en tránsito se refiere a los materiales que avanzan en los procesos de toda la cadena de valor, conectando las operaciones; estos productos han sido solicitados en algún punto del proceso, pero no han sido recibidos.
- Inventario de seguridad o de reserva, se mantiene con el fin de asegurar la disponibilidad y el nivel de servicio en caso de novedades, tales como paros inesperados o incrementos en la demanda.
- Inventario en consignación, son los materiales u artículos que son custodiados por el proveedor y que en el momento de necesitarlos para la venta o ser consumidos se puede disponer de estos.

○ **Gestión de inventarios**

Se entiende por gestión de inventario, a todos los controles y políticas utilizados para monitorear y definir los niveles idóneos de inventario que se deben mantener dentro de la organización, además de coordinar los tiempos de reabastecimiento y las cantidades a reponer.

Los sistemas de gestión de inventario están encargados de notificar cuando se deben realizar las órdenes de reabastecimiento, llevar el registro de la trazabilidad de los bienes custodiados e implementar métodos y estrategias para coordinar toda la operación logística, esto con el fin de incrementar la productividad y medir cada una de las actividades involucradas en las entradas y salidas de los productos.

En la Gestión de Inventarios están involucradas tres (3) actividades principales:

**a) Administración de inventarios**

Son todas las actividades necesarias para recolectar y validar la información referente a las existencias físicas de los productos a custodiar, estos procesos son:

- Toma física de inventarios
- Auditoria de Existencias
- Evaluación a los procedimientos de recepción y ventas (entradas y salidas)
- Conteos cíclicos

### **b) Planeación y control de la producción**

Consiste en coordinar la disponibilidad de materia prima en todos los procesos de manufactura que la transforman en productos terminado para su comercialización, algunos de los métodos más utilizados son:

- MPS (plan maestro de producción)
- MRP (planeación de recursos de manufactura)

### **c) Análisis de los inventarios**

Se refiere al análisis estadístico que se realicen para establecer si las existencias que fueron previamente determinadas son las que deberíamos tener en nuestra planta, es decir aplicar aquello de que "nada sobra y nada falta", pensando siempre en la rentabilidad que pueden producir estas existencias. Algunas metodologías aplicables para lograr este fin son:

#### **Formula de Wilson (máximos y mínimos):**

El objetivo principal de esta metodología es determinar la cantidad óptima de inventario en unidades por un periodo de tiempo. En este método tiene en cuenta el consumo máximo y mínimo de una pieza en un periodo de tiempo determinado y se ajusta de acuerdo al lead time del proveedor, para determinar la cantidad ideal a ordenar.

Esta metodología puede ser aplicable al caso de las piezas de mantenimiento, ya que se obtienen buenos resultados cuando la demanda o el lead time de los SKU es variable (Arbones, 1989).

### **Justo a tiempo (Just in time)**

Esta teoría tiene como filosofía hacer únicamente lo que es necesario, en el momento correcto y en las cantidades indicadas, para cualquier proceso, al implementar esta metodología se busca eliminar los desperdicios, las inconsistencias y los requerimientos irrazonables, todo esto traduciéndose en un aumento de la productividad (TOYOTA, 2016).

## 2. METODOLOGÍA

El primer paso para el desarrollo de este proyecto es la recolección de información pertinente y necesaria que se va a emplear; para esto se comienza por definir el funcionamiento completo de la maquina PHO600, con todos sus sistemas internos y las piezas que lo componen, delimitando cuales son los repuestos que se van a estudiar, esta actividad se realiza en un trabajo conjunto con el facilitador del área de prensado y con la ayuda de los manuales de la máquina. Luego se recolecta todos los datos históricos de las piezas que se han usado a lo largo de los últimos 5 años para el mantenimiento del equipo y sus características asociadas más relevantes tanto logísticas, como de compras y de mantenimiento, por ejemplo, si el repuesto es reparable, si es importado o si existe una cantidad mínima a ordenar a los proveedores, cuál es su lead time, los costos del repuesto, y costos de almacenamiento asociados, entre otros; paralelamente se clasifican en cada uno de los subsistemas que componen la máquina, que son: estático; dinámico; hidráulico; neumático; eléctrico; electrónico. Es así como se logra definir un buen modelo que contemple todos los factores que definen una pieza de repuesto. Así mismo se busca información relevante sobre buenas prácticas en la industria, nuevas tendencias en el abastecimiento de inventario de repuestos y algoritmos que puedan ser útiles para la aplicación en el caso de Vajillas Corona; esto se logra buscando en bancos de datos, como los repositorios, revistas y artículos con publicaciones en el tema que se abordará.

Luego de recolectada la información, se procede modificar y adaptar las metodologías para que puedan ser usadas bajo las condiciones del caso, por ejemplo, definir cuál es el riesgo que la empresa asume con la tenencia de inventario, las probabilidades de falla para los repuestos, los costos de mantenimiento y demás variables que puedan influenciar en el resultado. Más aún, se debe contemplar las restricciones del sistema y los criterios a evaluar, para así integrar todas las características diferenciadoras de la forma correcta a la metodología propuesta.

Habiendo definido todas las variables, condiciones y comportamientos del piloto, se procede a implementar el método, la programación lineal, y con su resultado propuesto, se analiza si la recomendación del sistema logra satisfacer las necesidades puntuales del área; además de comparar el escenario actual con el propuesto para presentar recomendaciones pertinentes y relevantes a la empresa.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

### **3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **3.1 LEVANTAR LA INFORMACIÓN TÉCNICA E HISTÓRICA PERTINENTE DE LA OPERACIÓN.**

##### **3.1.1 Recolección de las bases de datos**

Para realizar esta primera actividad se recolectó todas las bases de datos que contuvieran la información más relevante y necesaria de los repuestos para la prueba piloto. Las principales bases de datos utilizadas fueron:

- Histórico de consumo de repuestos
- Base de datos Logísticos SAP
- Base de datos Compras SAP
- Base de datos Mantenimiento SAP

Para el piloto se seleccionó la prensa hidráulica PHO600, debido a que esta lleva en funcionamiento más de 20 años en la compañía, por lo que existen suficientes registros históricos de todos los mantenimientos y repuestos que se han utilizado para este equipo; se decide trabajar con los históricos de los últimos 5 años y medio, considerando este un lapso de tiempo apropiado para tener obtener toda la información notable acerca del comportamiento de los repuestos en la máquina.

Posteriormente se realizó una serie de filtros al conjunto de datos obtenidos, esto con el fin de definir cuáles eran los repuestos aptos para el análisis. En primer lugar, se seleccionaron las piezas que tienen un mínimo de stock mayor a cero en la base de datos, esto significa que esa pieza es considerada imprescindible y que se debe mantener disponible en todo momento; de los 6057 repuestos registrados en la base de datos, 563 referencias tienen mínimo de stock asignado, pero tan solo 53 SKU pertenecen a la PHO600; Luego se eliminaron ocho referencias porque no se contaba con la información de su precio en el mercado y por ende no eran aptas para el análisis, lo que nos deja con 45 referencias aptas. De este inventario restante, tres SKU están catalogados como repuestos consumibles, es decir que no califican para el estudio, pues solo se analizarán las categorías de repuestos hidráulicos, eléctricos, electrónicos,

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.



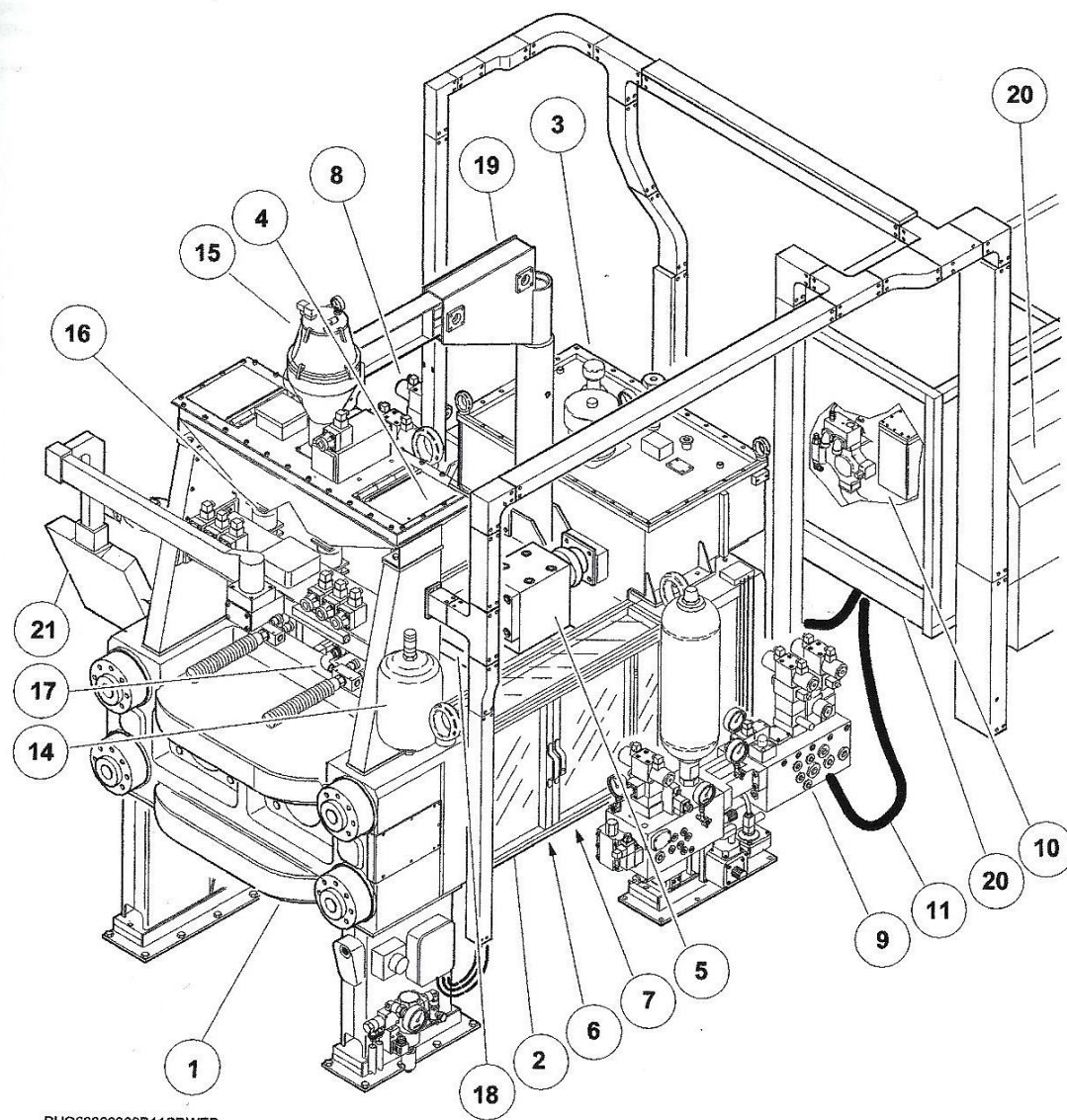
mecánicos, dinámicos, estáticos y neumáticos, lo que nos deja con un total de 42 repuestos para estudiar (Ver anexo 1)

Adicionalmente se hizo un reconocimiento previo de todo el funcionamiento de la maquina con cada uno de sus sub-sistemas como se muestra a continuación.

### **3.1.2 Funcionamiento de la PHO600**

El proceso comienza cuando el polvo cerámico es transportado a través de las tuberías de alimentación por una bomba de succión de paso temporizada, la cual deposita la materia prima en la parte superior de cada una de las tolvas; una vez el tiempo de alimentación de pasta haya transcurrido, el proceso continua en la parte inferior de la tolva, donde se encuentra una compuerta que se activa por peso y es la encargada de liberar la cantidad necesaria de pasta para la presurización y llenado de la cavidad del molde, para realizar esta función se activa gran parte del sistema neumático, ya que se inyecta aire para todo el sistema de alimentación.

Una vez la pasta se encuentra dentro del molde una membrana móvil (molde móvil) se desplaza hasta el punzón fijo (molde fijo), al desplazar la membrana se unen los dos moldes realizando el cierre para garantizar un sellado hermético; Luego, a través del sistema oleodinámico se inyecta aceite al interior de la membrana para compactar todos los gránulos irregulares de la materia prima a una presión entre 270 y 300 bares, esta es determinada de acuerdo al diámetro de cada molde y la capacidad del pistón para formar el plato. Una vez la pieza ha sido compactada, se descomprime el aceite de la membrana por medio de un cilindro oleoneumático que succiona el aceite de la membrana para volver a una posición inicial y repetir el proceso para un siguiente plato.



PHO60000000B11SDWEB

**Ilustración 7: Prensa hidráulica PHO600**

**Fuente:** (SACMI IMOLA, 1995)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

## **Partes de la maquina**

- 1. Estructura de sujeción**
- 2. Protecciones**
- 3. Deposito**
- 4. Pistón**
- 5. Pistón**
- 6. Multiplicador**
- 7. Multiplicador**
- 8. Placa**
- 9. Placa**
- 10. Centralita**
- 11. Cableado**
- 12. –**
- 13. –**
- 14. Instalación**
- 15. Alimentación**
- 16. Presurización**
- 17. Aspiración**
- 18. Placa**
- 19. Aparejo**
- 20. Cabina**
- 21. Cableado**
- 22. Equipamiento**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

### **3.1.3 Subsistemas de la PHO600**

A continuación se presenta la lista de cada uno de los 156 repuestos que se han utilizado en la máquina en un periodo de 5 años, clasificados en cada uno de los subsistemas (tipos de repuestos), es importante aclarar que los demás tipos de repuestos que se manejan en la empresa como los abrasivos; mangueras, acoples y racores; empaquetaduras y cauchos; ferretería eléctrica; ferretería general; carpintería; herramientas; maderas; mallas; materiales de construcción; pinturas y disolventes; tornillería; válvulas; tuberías y accesorios, se dejan fuera del análisis puesto que todos se pueden agrupar en un solo grupo llamado consumibles, los cuales tienen una criticidad menor a los otros grupos de repuesto y se les puede administrar de una forma más simple.

- Subsistema Dinámico
- Subsistema Estático
- Subsistema Eléctrico
- Subsistema Electrónico
- Subsistema Hidráulico
- Subsistema Neumático

### **3.1.4 Criterios adicionales**

Se realizaron modificaciones para uno de los formularios que se debe diligenciar cuando se desea solicitar un registro de una pieza para que tenga un mínimo de stock en las bodegas de Corona, esto se hizo con la intención de recolectar datos relevantes que no se tenían en las bases de datos de la empresa. El formulario recoge tanto información del área de mantenimiento como información de compras.

Características como, la máquina a la que pertenece el repuesto, la cantidad instalada de piezas por máquina, el tiempo estimado de consumo, si es un repuesto reparable o no, el tiempo promedio en horas de la reparación, el tipo de proveedor, el impacto a la producción y el valor de redondeo, son todas propias y necesarias para hacer el correcto análisis de

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

los repuestos, y no se tiene un registro de esto; es importante mencionar que esta información se obtiene de los facilitadores (técnicos y mecánicos) del equipo, los cuales cuentan con la experiencia suficiente para entregarnos información confiable.

A pesar de que no todos los ítems consultados en el formulario son utilizados para nuestro modelo, se incluyeron con el fin de que la empresa posteriormente pueda hacer uso de esta información para la toma de decisiones de inscribir o no, nuevos mínimos de seguridad que no se encuentran en la base de datos de SAP (Ver anexo 2).

Como resultado se obtuvo una base de datos en Excel, robusta, completa y confiable, de todas las piezas relevantes de la máquina para dar inicio a la segunda etapa del proyecto.

### **3.2 ADECUAR LAS METODOLOGÍAS APLICABLES AL CASO PHO600**

Se decidió mejorar los niveles de inventario por medio de programación lineal, esta metodología nos permite encontrar el nivel óptimo entre el presupuesto destinado para comprar y mantener un repuesto durante un periodo de 12 meses, y el riesgo asumido por no mantener el repuesto o la cantidad necesaria.

Para lograr esto se definen las variables determinantes a la hora de tomar la decisión, que son: el costo de tener un repuesto; el costo de no tener un repuesto (consecuencia económica); la probabilidad de necesitar la pieza en un periodo de 12 meses; la probabilidad de no tener la cantidad suficiente de repuestos para una avería.

#### **3.2.1 Gestión de activos**

- **Costo de mantener el repuesto**

Esta variable se determinó bajo la siguiente formula:

$$CM LP = CR + CA + VA$$

**CM LP**= Costo de mantener

**CR** = Costo del repuesto

**CA**= Costo de almacenamiento

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

**VA = Valorización del activo**

Donde,

- **CR= Cu \* X \* Cant año**

Cu = Costo unitario

X = Cantidad mantener sug PL/ evento

- **CA= CR \* Pa**

Pa= % Costo de almacenamiento/pieza

- **VA= CR\* I**

I = Inflación (IPC)

El costo unitario se obtuvo de las bases de datos recolectadas anteriormente. Para el porcentaje de almacenamiento se realizó una consulta al área financiera de Corona, donde se estableció que el costo de almacenamiento representa aproximadamente un 23% del costo del repuesto, este porcentaje contempla la mano de obra para la custodia de las piezas, alquiler de equipos para el desplazamiento dentro de la bodega, iluminación y aseo. La ecuación “Inflación” se definió de acuerdo a las NIC (Normas Internacionales de Contabilidad), donde se establece que un repuesto es un activo que solo comienza a depreciarse hasta el momento en que se utilice en la máquina y a este se le debe realizar la corrección monetaria por efectos de la inflación, por lo que utilizamos el IPC como tasa de referencia; las piezas importadas una vez ingresen a la custodia de la empresa, su valor se pasa a COP por lo que no está influenciado por la moneda cambiaria.

Luego de realizar la optimización de debe suavizar la programación lineal, ya que el comportamiento de los repuestos es discreto y por esto el resultado se debe ajustar las cantidades y se debe recalcular el costo de mantener, además de incluir una aproximación del total de las cantidades que se van a necesitar en el año para que el presupuesto sea lo más cercano a la realidad posible.

$$\mathbf{CM\ Ajustado = CR + CA + VA}$$

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

**Cant año** = Media de falla ( $\lambda$ )

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

Lead time: tiempo en horas que se tarde en llegar el producto a las instalaciones

Pdn: cantidad de piezas producidas por la maquina cada hora

Cnv: costo de no vender/ pieza

Lead time (horas)	Pdn/hora	Cnv/ hora	CNT
192	416.67	\$ 1,041,667	\$ 200,000,000
1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000
1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000
1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000
1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000
1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000
1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000
144	416.67	\$ 1,041,667	\$ 150,000,000

**Tabla 3:** Costo de no tener (muestra)

**Fuente:** Construcción propia (2016)

### 3.2.2 Gestión de riesgo

#### ○ Estudio de confiabilidad

Esta metodología fue la seleccionada para evaluar el riesgo asumido de tener o no inventario de repuestos, ya que es el método más apropiado para este tipo de estudio.

Se realizó una serie de supuestos que permitieron hacer el análisis; el primero establece que los repuestos siguen una distribución exponencial, esto se determinó ya que esta función, es de riesgo constante, lo que quiere decir que es una función sin memoria, pues al realizar un cambio de repuesto se reemplaza por uno nuevo, y su probabilidad de fallo comienza nuevamente desde cero al momento del cambio. Otro de los supuestos que nos permitió seleccionar esta distribución, fue que el sistema trabaja bajo condiciones ideales todo el tiempo, es decir la maquina funciona correctamente bajo los estándares establecidos. Y por último se asume que todos los repuestos que ya están registrados con mínimo de seguridad no son reparables.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.



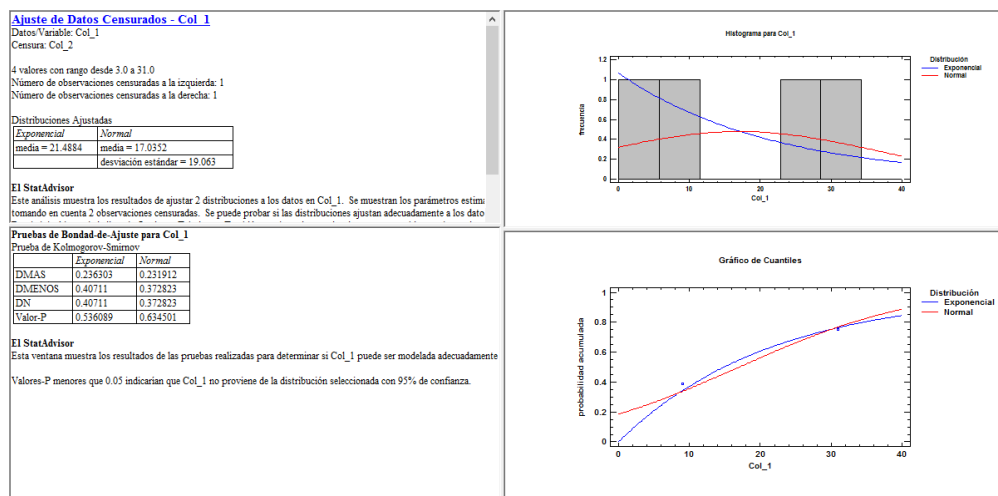
Una vez establecido los supuestos se procedió a determinar la frecuencia de la falla, para esto se creó una macro que cuenta los meses entre cada evento.

Material SAP	RESULTADOS DE LA MUESTRA				
30000009252	3	9	31	23	
30000009325	17	18	31		
30000009326	17	18	31		
30000009327	17	18	31		
30000009328	17	18	31		
30000009335	15	20	5	1	25

**Tabla 4:** Frecuencia del repuesto (muestra)

**Fuente:** Construcción propia (2016)

Posteriormente se registró como una muestra única de cada repuesto, para así ingresar estos datos al software Statgraphics, teniendo en cuenta que existen datos censurados por la derecha y por la izquierda para obtener la media de la distribución.



**Ilustración 8:** Análisis en Statgraphics con distribución exponencial

**Fuente:** Statgraphics (2016)

Consecutivamente se procede a realizar el análisis de confiabilidad, donde se determina el lambda de cada repuesto y la probabilidad de que el

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

repuesto falle en un periodo de 12 meses, es decir **P1**, por medio de la función acumulada.

La función exponencial está dada por:

$$f(x) = P(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & \text{para } x \geq 0 \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$F(x) = P(X \leq x) = \begin{cases} 0 & \text{para } x < 0 \\ 1 - e^{-\lambda x} & \text{para } x \geq 0 \end{cases}$$

$$E[X] = \frac{1}{\lambda}, \quad V(X) = \frac{1}{\lambda^2}$$

Material	Promedio meses entre falla (Media)	Lambda	P1 (Mes 12)
30000009252	21.48	4.66%	43%
30000009325	28.32	3.53%	35%
30000009326	28.32	3.53%	35%
30000009327	28.32	3.53%	35%
30000009328	28.32	3.53%	35%
30000009335	14.3	6.99%	57%

**Tabla 5:** Estudio de confiabilidad

**Fuente:** Construcción propia (2016)

○ **Probabilidad de satisfacer la demanda**

Esta probabilidad fue determinada con el histórico de consumo de repuestos, midiendo la frecuencia con la que se necesitó una cantidad determinada de piezas para un evento de fallo, y así obtener el número de piezas óptimo para cada repuesto.

$$\% \text{ Frecuencia } Xi = Xi / TE, 1 \leq i \leq a$$

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

**Xi** = # de veces que se necesitó *i* piezas durante 5 años

**TE** = Total de los eventos en el histórico de repuestos

**a** = Cantidad máxima de consumo por repuesto

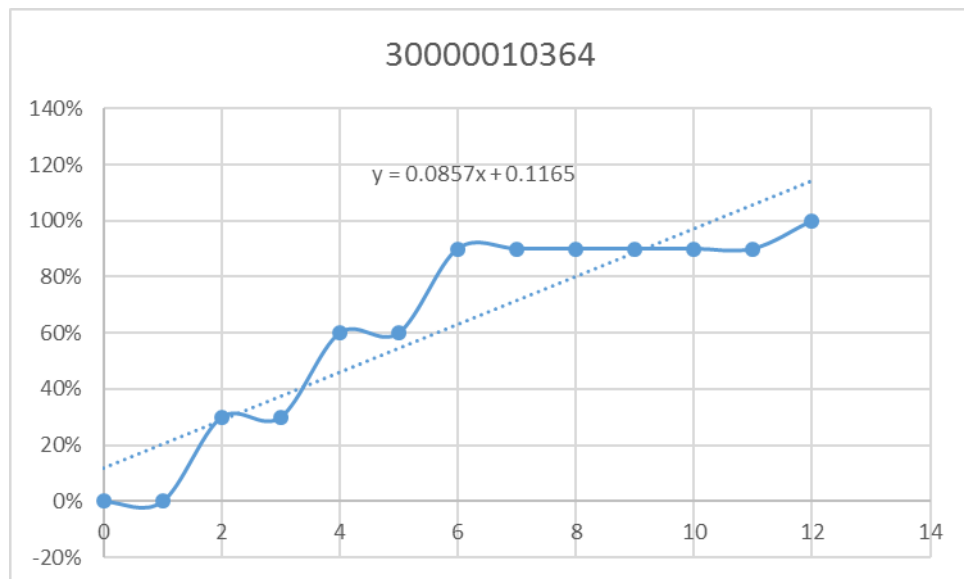
Esta fórmula fue aplicada a los 42 SKU del piloto, donde *a* varía de acuerdo a la referencia.

30000010364												
Xi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cuenta	0	3	0	3	0	3	0	0	0	0	0	1
% Frecuencia Xi	0%	30%	0%	30%	0%	30%	0%	0%	0%	0%	0%	10%
Acumulada (nivel de servicio)	0%	30%	30%	60%	60%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	100%

**Tabla 6:** Nivel de servicio

**Fuente:** Construcción propia (2016)

Con esta información se formuló la función acumulada de las frecuencias de cantidades y se graficó cada uno de los repuestos para definir la ecuación de tendencia que describe el nivel de servicio de acuerdo a la cantidad de piezas a mantener.



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

### **Ilustración 9:** Comportamiento lineal del repuesto 30000010364

**Fuente:** Construcción propia (2016)

Se debe aclarar que **P2** es única para cada repuesto, es decir cada uno tiene un comportamiento diferente, por ende, una ecuación diferente, para este caso está dada por la fórmula de la tendencia P2:  $0.0857x + 0.11165$  (Ver Anexo 3).

#### ○ **Programación lineal**

El siguiente paso consistió en realizar la optimización por medio de Solver en el programa de Microsoft Excel; una vez obtenido los valores de todas las variables mencionadas anteriormente a nivel de referencia, se elaboró una hoja donde se visualiza la información construida y posteriormente se formuló la función objetivo y las restricciones del sistema.

##### ▪ **Función objetivo**

La función objetivo es la función que se desea optimizar, y ha sido definida así:

$$RA = P1 * CNT - P2 * CNT$$

**RA** = Riesgo asociado

**P1** = Probabilidad de que se necesite el repuesto en un periodo de 12 meses

**P2** = Probabilidad de satisfacer la cantidad necesario

**CNT** = Costo de no tener

Es necesario realizar un ajuste para esta columna en la plantilla de la programación lineal, ya que se puede presentar el escenario en que P2 es mayor a P1, generando un riesgo negativo, lo cual no es posible, por esto se introduce una columna adicional que ajusta este resultado de riesgo y solo suma los riesgos mayores iguales a cero, para obtener un resultado real; esta celda la llamamos RA Mod.

$\Sigma$ RA	$\Sigma$ RA Mod
-\$ 13,256,800,847	\$ 1,323,273,338

CNT	P1	P2	RA	RA Mod
\$ 200,000,000	43%	93%	-\$ 99,535,088.88	\$ -
\$ 1,500,000,000	35%	83%	-\$ 731,852,065.29	\$ -
\$ 1,500,000,000	35%	83%	-\$ 731,852,065.29	\$ -
\$ 1,500,000,000	35%	100%	-\$ 981,902,065.29	\$ -
\$ 1,500,000,000	35%	100%	-\$ 981,902,065.29	\$ -

**Tabla 7:** Criterios de la programación lineal

**Fuente:** Construcción propia (2016)

#### ▪ Restricciones

Las restricciones limitan el comportamiento de los repuestos, para que su valor varié dentro de parámetros reales del caso, a continuación, se enumeran los parámetros que se establecieron para el sistema:

- Todas las cantidades de los repuestos deben ser mayores o iguales a cero
- Cada una de las cantidades del repuesto no puede ser mayor a su consumo máximo por evento
- La sumatoria de los CM unitarios no debe superar el presupuesto del año

#### ▪ Modelo completo

Para ver la consolidación de los pasos mencionados anteriormente ir al **anexo 4**

### 3.3 COMPARAR LA PROPUESTA CON LA SITUACIÓN ACTUAL

Actualmente la empresa cuenta mínimos de seguridad ya establecidos, estos requieren de una alta inversión de capital, que hoy para los repuestos de la PHO600 es superior a los 50 Millones COP; la cifra contempla tanto el costo de la compra como el costo de mantenerlo durante 12 meses. Para comparar

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

Luego de aplicar toda la metodología, se compara el modelo versus la situación actual bajo diferentes escenarios; el primero se hizo utilizando el mismo capital de inversión y se evaluó el impacto en el riesgo y se encontró lo siguiente:

[illegible]

**Fuente:** Construcción propia (2016)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

Con el mismo capital de trabajo inicial	ACTUAL	PROPUESTO	DIFERENCIA
\$ Inventario	\$ 51,452,625	\$ 51,452,625	0%
Riesgo	\$4,477,301,105	\$1,132,124,347	74.7%

**Tabla 9:** Modelo con el mismo presupuesto

**Fuente:** Construcción propia (2016)

Es importante mencionar que, para realizar la comparación de presupuesto asignado, no se tiene en cuenta el número de eventos al año, solo se comprara la cantidad a mantener en inventario en caso de presentarse un evento, pues el mínimo tanto de Corona como de la programación no contempla la frecuencia con la que se necesite, este se hace posteriormente para el presupuesto sugerido.

Por otra parte, es posible también establecer como restricción el presupuesto y/o el riesgo asumido, concediéndole a la empresa la oportunidad de establecer un límite de inversión tanto para el presupuesto como para el riesgo, a continuación, se presenta el segundo escenario y tercer escenario

CA	3%	2 CM	Restricción	3 CM ajustada	2 RA	2 RA Mod										
VA	23%	\$ 40,000,000	\$ 40,000,000	\$ 61,489,082	\$ 11,256,800,847	\$ 1,323,273,338										
Costo/Pieza	\$2,500															
Codigo SAP	Tipo de Repuesto	Cant sug PL	Cant Ajustada	Cantidad al año	CU	CR	CM LP	CM ajustado	Lead time (horas)	Pdn/hora	Cmv/ hora	CNT	P1	P2	RA	RA Mod
30000009252	REPTO ELECTRONICO	8	8	8.0	\$ 103,600.0	\$ 828,800.0	\$ 1,044,288.0	\$ 1,044,288.0	192	416.67	\$ 1,041,667	\$ 200,000,000	43%	93%	\$ 99,535,088.88	\$ -
30000009325	REPUESTOS ESTÁTICOS	2	2	2.0	\$ 92,722.0	\$ 185,444.0	\$ 233,659.4	\$ 233,659.4	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	35%	83%	\$ 731,852,065.29	\$ -
30000009326	REPUESTOS ESTÁTICOS	2	2	2.0	\$ 456,922.0	\$ 913,844.0	\$ 1,151,443.4	\$ 1,151,443.4	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	35%	83%	\$ 731,852,065.29	\$ -
30000009327	REPUESTOS ESTÁTICOS	2	2	2.0	\$ 333,518.0	\$ 667,036.0	\$ 840,465.4	\$ 840,465.4	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	35%	100%	\$ 981,902,065.29	\$ -
30000009328	REPUESTOS ESTÁTICOS	1	1	1.0	\$ 2,219,428.0	\$ 2,219,428.0	\$ 2,796,479.3	\$ 2,796,479.3	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	35%	100%	\$ 981,902,065.29	\$ -
30000009335	REPUESTOS ESTÁTICOS	4	4	4.0	\$ 24,020.0	\$ 96,080.0	\$ 121,060.8	\$ 121,060.8	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	57%	75%	\$ 273,109,425.06	\$ -
30000009364	REPUESTOS DINAMICOS	3	3	3.0	\$ 76,567.0	\$ 229,701.0	\$ 289,423.3	\$ 289,423.3	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	44%	105%	\$ 687,374,805.22	\$ -
30000009505	REPUESTOS DINAMICOS	15-25	15-25	81.3	\$ 37,800.0	\$ 3,074,400.0	\$ 726,327.0	\$ 3,873,744.0	144	416.67	\$ 1,041,667	\$ 150,000,000	100%	309%	\$ 314,842,942.50	\$ -
30000009796	REPUESTOS NEUMATICOS	28	28	172.3	\$ 7,396.0	\$ 1,274,387.7	\$ 260,930.9	\$ 1,605,728.5	72	416.67	\$ 1,041,667	\$ 75,000,000	100%	118%	\$ 14,026,896.89	\$ -
30000009800	REPTO ELECTRONICO	0	0	0.0	\$ 93,820.0	\$ -	\$ -	\$ -	0	416.67	\$ 1,041,667	\$ -	30%	0%	\$ -	\$ -
30000009984	REPUESTOS DINAMICOS	34	34	245.8	\$ 5,761.0	\$ 1,415,956.6	\$ 246,801.2	\$ 1,784,105.3	144	416.67	\$ 1,041,667	\$ 150,000,000	100%	107%	\$ 10,443,796.04	\$ -
30000009986	REPUESTOS DINAMICOS	87	87	884.7	\$ 6,748.0	\$ 5,970,264.4	\$ 739,715.8	\$ 7,522,533.2	144	416.67	\$ 1,041,667	\$ 150,000,000	100%	117%	\$ 25,190,748.27	\$ -
30000010100	REPUESTOS DINAMICOS	18	18	76.6	\$ 41,000.0	\$ 3,140,425.5	\$ 929,880.0	\$ 3,956,936.2	144	416.67	\$ 1,041,667	\$ 150,000,000	99%	110%	\$ 16,633,284.26	\$ -
30000010211	REPUESTO ELECTRIC	1	1	1.0	\$ 95,199.0	\$ 95,199.0	\$ 119,950.7	\$ 119,950.7	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	33%	100%	\$ 757,695,354.33	\$ -
30000010212	REPUESTO ELECTRIC	1	1	1.0	\$ 393,058.0	\$ 393,058.0	\$ 495,253.1	\$ 495,253.1	1200	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,250,000,000	38%	100%	\$ 779,493,081.26	\$ -
30000010214	REPUESTOS NEUMATICOS	1	1	1.0	\$ 786,317.0	\$ 786,317.0	\$ 990,759.4	\$ 990,759.4	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	30%	100%	\$ 782,036,919.45	\$ -
30000010364	REPUESTOS NEUMATICOS	12	12	26.9	\$ 47,614.0	\$ 1,279,182.1	\$ 719,923.7	\$ 1,611,769.4	72	416.67	\$ 1,041,667	\$ 75,000,000	89%	114%	\$ 18,861,427.12	\$ -
30000010376	REPUESTOS NEUMATICOS	0	0	0.0	\$ 289,576.0	\$ -	\$ -	\$ -	72	416.67	\$ 1,041,667	\$ 75,000,000	99%	24%	\$ 56,050,951.72	\$ 56,050,951.72
30000010628	REPUESTOS ESTÁTICOS	0	0	0.0	\$ 1,313,250.0	\$ -	\$ -	\$ -	192	416.67	\$ 1,041,667	\$ 200,000,000	0%	0%	\$ -	\$ -
30000010699	REPTO HIDRAULICO	0.73787329	1	1.0	\$ 12,566,027.0	\$ 12,566,027.0	\$ 11,682,891.0	\$ 15,833,194.0	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	54%	74%	\$ 200,053,088.38	\$ -
30000010694	REPTO HIDRAULICO	0	0	0.0	\$ 2,148,471.0	\$ -	\$ -	\$ -	192	416.67	\$ 1,041,667	\$ 200,000,000	30%	0%	\$ 60,971,214.32	\$ 60,971,214.32
30000010696	REPUESTOS ESTÁTICOS	0	0	0.0	\$ 336,743.0	\$ -	\$ -	\$ -	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	94%	73%	\$ 305,427,891.47	\$ 305,427,891.47
30000010698	REPUESTOS ESTÁTICOS	2	2	2.6	\$ 216,050.0	\$ 554,566.8	\$ 544,446.0	\$ 698,754.2	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	72%	88%	\$ 237,131,033.17	\$ -
30000010710	REPUESTOS DINAMICOS	4	4	4.0	\$ 412,860.0	\$ 1,651,440.0	\$ 2,080,814.4	\$ 2,080,814.4	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	55%	90%	\$ 524,352,765.61	\$ -
30000010748	REPTO ELECTRONICO	0	0	0.0	\$ 948,837.0	\$ -	\$ -	\$ -	1680	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,750,000,000	66%	67%	\$ 26,601,098.35	\$ 503,436,793.92
30000010952	REPUESTO ELECTRIC	1	1	1.1	\$ 140,054.0	\$ 149,657.0	\$ 176,468.0	\$ 188,567.8	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	66%	21%	\$ 503,436,793.92	\$ 503,436,793.92
30000011118	REPTO ELECTRONICO	0	0	0.0	\$ 81,477.0	\$ -	\$ -	\$ -	72	416.67	\$ 1,041,667	\$ 75,000,000	100%	27%	\$ 54,423,405.86	\$ 54,423,405.86
30000011239	REPUESTO ELECTRIC	0	0	0.0	\$ 2,018,798.0	\$ -	\$ -	\$ -	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	30%	0%	\$ 342,963,080.55	\$ 342,963,080.55
30000011242	REPUESTO ELECTRIC	1	1	1.0	\$ 5,267,681.0	\$ 5,267,681.0	\$ 6,637,278.1	\$ 6,637,278.1	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	55%	100%	\$ 675,070,542.94	\$ -
30000011243	REPUESTOS NEUMATICOS	1	1	1.0	\$ 325,785.0	\$ 325,785.0	\$ 410,489.1	\$ 410,489.1	72	416.67	\$ 1,041,667	\$ 75,000,000	30%	100%	\$ 52,135,794.63	\$ -
30000011596	REPTO ELECTRONICO	0	0	0.0	\$ 2,940,176.0	\$ -	\$ -	\$ -	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	0%	0%	\$ -	\$ -
30000011636	REPTO ELECTRONICO	0	0	0.0	\$ 1,965,196.0	\$ -	\$ -	\$ -	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	0%	0%	\$ -	\$ -
30000011753	REPTO HIDRAULICO	1	1	1.2	\$ 71,634.0	\$ 87,715.1	\$ 90,258.8	\$ 110,521.0	1560	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,625,000,000	71%	100%	\$ 477,599,874.28	\$ -
30000011754	REPTO HIDRAULICO	1	1	1.0	\$ 202,130.0	\$ 202,130.0	\$ 254,683.8	\$ 254,683.8	1560	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,625,000,000	30%	100%	\$ 1,129,608,883.65	\$ -
30000011969	REPUESTOS DINAMICOS	10	10	10.0	\$ 341,183.0	\$ 3,411,830.0	\$ 4,298,905.8	\$ 4,298,905.8	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	47%	89%	\$ 643,407,225.31	\$ -
30000012036	REPUESTOS DINAMICOS	1	1	1.0	\$ 1,100,000.0	\$ 1,100,000.0	\$ 1,386,000.0	\$ 1,386,000.0	192	416.67	\$ 1,041,667	\$ 200,000,000	30%	100%	\$ 139,028,785.68	\$ -
30000013202	REPTO HIDRAULICO	1	1	1.8	\$ 405,513.0	\$ 739,537.4	\$ 510,946.4	\$ 931,817.1	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	84%	100%	\$ 242,139,057.87	\$ -
30000013206	REPTO HIDRAULICO	2	2	2.0	\$ 17,061.0	\$ 34,122.0	\$ 42,993.7	\$ 42,993.7	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	42%	83%	\$ 619,317,418.18	\$ -
30000013207	REPTO HIDRAULICO	4	4	4.0	\$ 5,419.0	\$ 21,676.0	\$ 27,311.8	\$ 27,311.8	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	47%	90%	\$ 652,107,225.31	\$ -
30000013208	REPTO HIDRAULICO	4	4	4.0	\$ 6,307.0	\$ 25,228.0	\$ 31,787.3	\$ 31,787.3	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	47%	60%	\$ 202,107,225.31	\$ -
30000013209	REPTO HIDRAULICO	2	2	2.0	\$ 31,783.0	\$ 63,566.0	\$ 80,093.2	\$ 80,093.2	1200	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,250,000,000	30%	83%	\$ 660,554,910.50	\$ -
30000013217	REPUESTOS NEUMATICOS	1	1	1.0	\$ 30,374.0	\$ 30,374.0	\$ 38,271.2	\$ 38,271.2	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	47%	100%	\$ 802,107,225.31	\$ -

**Tabla 10:** Segundo escenario

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

Fuente: Construcción propia (2016)

Con restricción de \$40 M	ACTUAL	PROPUESTO	DIFERENCIA
\$ Inventario	\$ 51,452,625	\$40,000,000	22%
Riesgo	\$ 4,477,301,105	\$1,323,273,338	70.4%

Tabla 11: Con restricción de \$40M

Fuente: Construcción propia (2016)

VA											\$ CM		Restricción	\$ CM ajustado												\$ RA		\$ RA Mod		
CA											\$ 60,000,000		\$ 60,000,000		\$ 101,219,233												-\$ 14,226,960,216		\$ 911,538,455	
Costo/Pieza																														
Codigo SAP	Cant sug PL	Cant Ajustada	Lambda	Cantidad al año	CU	CR	CM LP	CM ajustado	Lead time (horas)	Pdn/hora	Cnv/ hora	CNT	P1	P2	RA	RA Mod														
30000009252	8	8	21.48	8.0	\$ 103,600.0	\$ 828,800.0	\$ 1,044,288.0	\$ 1,044,288.0	192	416.67	\$ 1,041,667	\$ 200,000,000	43%	93%	\$ 99,535,088.88	\$ -														
30000009325	2	2	28.32	2.0	\$ 92,722.0	\$ 185,444.0	\$ 233,659.4	\$ 233,659.4	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	35%	83%	\$ 731,852,065.29	\$ -														
30000009326	2	2	28.32	2.0	\$ 456,922.0	\$ 913,844.0	\$ 1,151,443.4	\$ 1,151,443.4	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	35%	83%	\$ 731,852,065.29	\$ -														
30000009327	2	2	28.32	2.0	\$ 333,518.0	\$ 667,036.0	\$ 840,465.4	\$ 840,465.4	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	35%	100%	\$ 981,902,065.29	\$ -														
30000009328	1	1	28.32	1.0	\$ 2,219,428.0	\$ 2,219,428.0	\$ 2,796,479.3	\$ 2,796,479.3	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	35%	100%	\$ 981,902,065.29	\$ -														
30000009335	4	4	14.3	4.0	\$ 24,020.0	\$ 96,080.0	\$ 121,060.8	\$ 121,060.8	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	57%	75%	\$ 273,109,425.06	\$ -														
30000009364	3	3	20.76	3.0	\$ 76,567.0	\$ 229,701.0	\$ 289,423.3	\$ 289,423.3	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	44%	105%	\$ 687,374,805.22	\$ -														
30000009505	15.25	15.25	2.25	81.3	\$ 37,800.0	\$ 3,074,400.0	\$ 726,327.0	\$ 3,873,744.0	144	416.67	\$ 1,041,667	\$ 150,000,000	100%	309%	\$ 314,842,942.50	\$ -														
30000009796	28	28	1.95	172.3	\$ 7,396.0	\$ 1,274,387.7	\$ 260,930.9	\$ 1,605,728.5	72	416.67	\$ 1,041,667	\$ 75,000,000	100%	118%	\$ 14,026,896.89	\$ -														
30000009800	0	0	33	0.0	\$ 93,820.0	\$ -	\$ -	\$ -	0	416.67	\$ 1,041,667	\$ -	30%	0%	\$ -	\$ -														
30000009884	34	34	1.66	245.8	\$ 5,761.0	\$ 1,415,956.6	\$ 246,801.2	\$ 1,784,105.3	144	416.67	\$ 1,041,667	\$ 150,000,000	100%	107%	\$ 10,443,796.04	\$ -														
30000009986	87	87	1.18	884.7	\$ 6,748.0	\$ 5,970,264.4	\$ 739,715.8	\$ 7,522,533.2	144	416.67	\$ 1,041,667	\$ 150,000,000	100%	117%	\$ 25,190,748.27	\$ -														
30000010100	18	18	2.82	76.6	\$ 41,000.0	\$ 3,140,425.5	\$ 929,880.0	\$ 3,956,936.2	144	416.67	\$ 1,041,667	\$ 150,000,000	99%	110%	\$ 16,633,284.26	\$ -														
30000010211	1	1	30.36	1.0	\$ 95,199.0	\$ 95,199.0	\$ 119,950.7	\$ 119,950.7	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	33%	100%	\$ 757,695,354.33	\$ -														
30000010212	1	1	25.41	1.0	\$ 393,058.0	\$ 393,058.0	\$ 495,253.1	\$ 495,253.1	1200	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,250,000,000	38%	100%	\$ 779,493,081.26	\$ -														
30000010214	1	1	33	1.0	\$ 786,317.0	\$ 786,317.0	\$ 990,759.4	\$ 990,759.4	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	30%	100%	\$ 782,036,919.45	\$ -														
30000010364	12	12	5.36	26.9	\$ 47,614.0	\$ 1,279,182.1	\$ 719,923.7	\$ 1,611,769.4	72	416.67	\$ 1,041,667	\$ 75,000,000	89%	114%	\$ 18,861,427.12	\$ -														
30000010376	6	6	2.79	25.8	\$ 289,576.0	\$ 7,472,929.0	\$ 2,189,194.6	\$ 9,415,890.6	72	416.67	\$ 1,041,667	\$ 75,000,000	99%	119%	\$ 15,229,048.28	\$ -														
30000010628	0	0	0	0.0	\$ 1,313,250.0	\$ -	\$ -	\$ -	192	416.67	\$ 1,041,667	\$ 200,000,000	0%	0%	\$ -	\$ -														
30000010693	1	1	15.26	1.0	\$ 12,566,027.0	\$ 12,566,027.0	\$ 15,833,194.0	\$ 15,833,194.0	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	54%	100%	\$ 683,243,146.06	\$ -														
30000010694	1	1	33	1.0	\$ 2,148,471.0	\$ 2,148,471.0	\$ 2,707,073.5	\$ 2,707,073.5	192	416.67	\$ 1,041,667	\$ 200,000,000	30%	100%	\$ 139,028,785.68	\$ -														
30000010696	21.94422934	12	4.36	33.0	\$ 336,743.0	\$ 11,121,787.2	\$ 9,310,852.7	\$ 14,013,451.8	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	94%	89%	\$ 65,138,580.24	\$ 65,138,580.24														
30000010698	2	2	9.35	2.6	\$ 216,050.0	\$ 554,566.8	\$ 544,446.0	\$ 698,754.2	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	72%	88%	\$ 237,131,033.17	\$ -														
30000010710	4	4	15.01	4.0	\$ 412,860.0	\$ 1,651,440.0	\$ 2,080,814.4	\$ 2,080,814.4	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	55%	90%	\$ 524,352,765.61	\$ -														
30000010748	0	0	11.23	0.0	\$ 948,837.0	\$ -	\$ -	\$ -	1680	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,750,000,000	66%	67%	\$ 26,601,098.35	\$ -														
30000010952	1	1	11.23	1.1	\$ 140,054.0	\$ 149,657.0	\$ 176,468.0	\$ 188,567.8	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	66%	21%	\$ 503,436,793.92	\$ 503,436,793.92														
30000011118	16	16	1.45	132.4	\$ 81,477.0	\$ 10,788,678.6	\$ 1,642,576.3	\$ 13,593,735.1	72	416.67	\$ 1,041,667	\$ 75,000,000	100%	115%	\$ 10,976,594.14	\$ -														
30000011239	0	0	33	0.0	\$ 2,018,798.0	\$ -	\$ -	\$ -	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	30%	0%	\$ 342,963,080.55	\$ 342,963,080.55														
30000011242	1	1	15.03	1.0	\$ 5,267,681.0	\$ 5,267,681.0	\$ 6,637,278.1	\$ 6,637,278.1	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	55%	100%	\$ 675,070,542.94	\$ -														
30000011243	1	1	33	1.0	\$ 325,785.0	\$ 325,785.0	\$ 410,489.1	\$ 410,489.1	72	416.67	\$ 1,041,667	\$ 75,000,000	30%	100%	\$ 52,135,794.63	\$ -														
30000011596	0	0	0	0.0	\$ 2,940,176.0	\$ -	\$ -	\$ -	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	0%	0%	\$ -	\$ -														
30000011636	0	0	0	0.0	\$ 1,965,196.0	\$ -	\$ -	\$ -	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	0%	0%	\$ -	\$ -														
30000011753	1	1	9.8	1.2	\$ 71,634.0	\$ 87,715.1	\$ 90,258.8	\$ 110,521.0	1560	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,625,000,000	71%	100%	\$ 477,599,874.28	\$ -														
30000011754	1	1	33	1.0	\$ 202,130.0	\$ 202,130.0	\$ 254,683.8	\$ 254,683.8	1560	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,625,000,000	30%	100%	\$ 1,129,608,883.65	\$ -														
30000011969	10	10	19.17	10.0	\$ 341,183.0	\$ 3,411,830.0	\$ 4,298,905.8	\$ 4,298,905.8	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	47%	89%	\$ 643,407,225.31	\$ -														
30000012036	1	1	33	1.0	\$ 1,100,000.0	\$ 1,100,000.0	\$ 1,386,000.0	\$ 1,386,000.0	192	416.67	\$ 1,041,667	\$ 200,000,000	30%	100%	\$ 139,028,785.68	\$ -														
3000001202	1	1	6.58	1.8	\$ 405,513.0	\$ 739,537.4	\$ 510,946.4	\$ 931,817.1	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	84%	100%	\$ 242,139,057.87	\$ -														
30000012026	2	2	22	2.0	\$ 17,061.0	\$ 34,122.0	\$ 42,993.7	\$ 42,993.7	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	42%	83%	\$ 619,317,418.18	\$ -														
30000012027	4	4	19.17	4.0	\$ 5,419.0	\$ 21,676.0	\$ 27,311.8	\$ 27,311.8	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	47%	90%	\$ 652,107,225.31	\$ -														
30000012028	4	4	19.17	4.0	\$ 6,307.0	\$ 25,228.0	\$ 31,787.3	\$ 31,787.3	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	47%	60%	\$ 202,107,225.31	\$ -														
30000012029	2	2	33	2.0	\$ 31,783.0	\$ 63,566.0	\$ 80,093.2	\$ 80,093.2	1200	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,250,000,000	30%	83%	\$ 660,554,910.50	\$ -														
30000013217	1	1	19.17	1.0	\$ 30,374.0	\$ 30,374.0	\$ 38,271.2	\$ 38,271.2	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	47%	100%	\$ 802,107,225.31	\$ -														

Tabla 12: Tercer escenario

Fuente: Construcción propia (2016)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.



Con restricción de \$60 M	ACTUAL	PROPUESTO	DIFERENCIA
\$60,000,000	\$ 51,452,625	\$60,000,000	80%
\$911,538,455	\$ 4,477,301,105	\$911,538,455	79.6%

**Tabla 13:**Con restricción de \$60M

**Fuente:** Construcción propia (2016)

Se encontró que la metodología es capaz de reducir el nivel actual de inventario de acuerdo al riesgo que se esté dispuesto a asumir. Actualmente, se tiene una inversión aproxima de 51 Millones COP para mantener los inventarios y se está asumiendo un riesgo económico total de 4,500 Millones COP.

La primera simulación se llevó a cabo con el objetivo de observar con el mismo presupuesto que hoy se reserva, en qué proporción disminuye el riesgo. Se encontró que este disminuyó en un 74,7%, esto se debe a que se maximizan las cantidades que mayor impacto económico pueda tener en caso de una avería y no se encuentren en bodega, generando este cambio considerable.

Así mismo se evaluó como se comportaban los niveles de inventario, con un presupuesto mayor al actual y uno menor; se seleccionó para el primero un presupuesto de 40 Millones COP y para el segundo 60 Millones de COP. Los resultados fueron una disminución del riesgo del 70,4% y 79,6% respectivamente para cada uno de las simulaciones. En vista de los resultados mencionados anteriormente, es importante resaltar que los repuestos donde el programa determinó que no debería existir mínimo, son aquellos con un lead time muy corto, lo que quiere decir que el riesgo asumido es menor frente a casos con tiempos de entrega hasta más de dos meses.

Adicionalmente para cada uno de los repuestos, este presupuesto se debe modificar, pues como se mencionó anteriormente, este es solo la inversión inicial y se debe tener en cuenta la ocurrencia dentro de un periodo de 12 meses para tener un valor lo más cercano a la realidad posible, por esto se presenta cabe mencionar el presupuesto ajustado del segundo y tercer escenario que es de \$61,489,082 COP y \$101,219,233 COP.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

## **4. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES**

Después de realizar el piloto y analizar los resultados propuestos con la situación actual se concluyó que la metodología es aplicable, ya que cumple con las consideraciones propuestas y resulta viable adoptar el método dentro de la organización para alcanzar mejores prácticas en la gestión de los repuestos. Inclusive con los resultados obtenidos aún se presenta una gran cantidad de oportunidades para mejorar la metodología, por ejemplo, las fórmulas que describen el comportamiento de cada uno de los repuestos, se obtuvieron manualmente en Excel y se utilizó la fórmula de la línea de tendencia, ¿es necesario la linealidad para el método utilizado (programación lineal), pero resulta interesante realizar el análisis con programación no lineal.

Además, se puede complementar con un análisis logístico, dado que la modelación en Statgraphics se realizó para un periodo de 12 meses, pero este no considera una fecha exacta de fallo; esto quiere decir que la cantidad de repuestos recomendada a mantener, se debe garantizar permanentemente porque no hay un dato de cuando pueda fallar, presentándose una oportunidad logística donde se puede disminuir aún más los costos de mantener inventario, mediante el uso del software y modificando el periodo mes a mes de la función, para encontrar el momento en que la probabilidad de fallo es alta y sea más oportuno comprar el repuesto para prevenir inconvenientes.

Por otra parte, para complementar el modelo es ideal agregar el factor de riesgo de obsolescencia de los repuestos, ya que estos con el pasar del tiempo deterioran, a pesar de estar almacenados bajo condiciones ideales sufren un desgaste natural y algunos de ellos pueden dañarse tanto que dejan de ser aptos para su uso. Adicionando también una interfaz más sencilla con el usuario, que permita visualizar y entender los resultados de una forma más simplificada, permitiendo tomar decisiones rápidamente y garantizando la efectividad del método.

Durante el desarrollo también se encontraron 3 repuestos sin consumo histórico y para esta metodología al no tener una muestra de su comportamiento, no se puede determinar una probabilidad de fallo, por lo que se recomienda en estos casos hacer uso de la información del formulario propuesto, en esta se encuentra una recomendación de mínimo del proveedor y una del técnico.

Para finalizar se recomienda a la empresa comenzar con la recolección de los datos de todos los repuestos de mantenimiento, con el fin de implementar esta

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

metodología en todas las máquinas de Vajillas Corona, y si se presentan buenos resultados evaluar la viabilidad de extenderla a las empresas del grupo Corona.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Bharadwaj, U. R., Silberschmidt, V. V., & Wintle, J. B. (2011). RISK BASED OPTIMISATION OF SPARES INVENTORY. *Advances in Production Engineering & Management*, 173-184.

de Bona, J. M. (s.f.). *Gestión del mantenimiento*. Fundación confemetal.

Diewert, W. (2013). *Applied economics*.

Fundación iberoamericana de altos estudios profesionales. (2014). *Control y manejo de inventarios y almacén*. FIAEP.

García, S. (2003). *Organización y gestión integral del mantenimiento*. Madrid: Diaz De Santos.

Ghobbar, A., & Friend, C. (2004). The material requirements planning system for aircraft maintenance and inventory control: a note. *Journal of Air Transport Management*, 217-221.

González, F. J. (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. Madrid: Fundación Confemetal.

González, F. J. (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*.  
Obtenido de  
[https://books.google.com.co/books?id=OzwXOAKv\\_QAC&pg=PA53&dq=mantenimiento+preventivo+y+correctivo&hl=en&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwie\\_qH6ro\\_LAhWmloMKHcaHBjIQ6AEIUDAF#v=onepage&q=mantenimiento%20preventivo%20y%20correctivo&f=false](https://books.google.com.co/books?id=OzwXOAKv_QAC&pg=PA53&dq=mantenimiento+preventivo+y+correctivo&hl=en&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwie_qH6ro_LAhWmloMKHcaHBjIQ6AEIUDAF#v=onepage&q=mantenimiento%20preventivo%20y%20correctivo&f=false)

Gu, J., Zhang, G., & Li, K. W. (2015). Efficient aircraft spare parts inventory management under demand. *Journal of Air Transport Management*, 101-109.

Gutierrez, H., & De la Vara, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. Mexico D.F: McGraw-Hill.

Ilgin, A. M., & Tunali, S. (2007). Joint optimization of spare parts inventory and maintenance policies using genetic algorithms. *Intermacional Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 594–604.

ISO. (2015). *ISO 31000 Risk Management-A practical guide for SMEs*. Geneva.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

- Kennedy, W., Patterson, J., & Fredendall, L. (2002). An overview of recent literature on spare parts inventories. *Internacional Journal of Production Economics*, 201-215.
- Panagiotidou, S. (2014). Joint optimization of spare parts ordering and maintenance policies. *European Journal of Operational Research*, 300-314.
- Sanford, W. (2015). An Overview of ISO 55000 - Standardizing asset management. *Inspectioneering Journal*, Issue 6.
- Sistema de confiabilidad Operacional. (2014). *Métodología análisis de criticidad*. PEMEX.
- Souris, J.-P. (1992). *Mantenimiento: Fuente de beneficios*. Madrid: Diaz de Santos.
- TOYOTA. (19 de Septiembre de 2016). TOYOTA. Obtenido de TOYOTA-GLOBAL: [http://www.toyota-global.com/company/vision\\_philosophy/toyota\\_production\\_system/just-in-time.html](http://www.toyota-global.com/company/vision_philosophy/toyota_production_system/just-in-time.html)
- van Jaarsveld, W., Dollevoet, T., & Dekker, R. (2015). Improving spare parts inventory control at a repair shop. *OMEGA*, 217-229.
- Wang, W. (2012). A stochastic model for joint spare parts inventory and planned maintenance optimisation. *European Journal of Operational Research*, 127-139.

## Anexo 1: Repuestos seleccionados

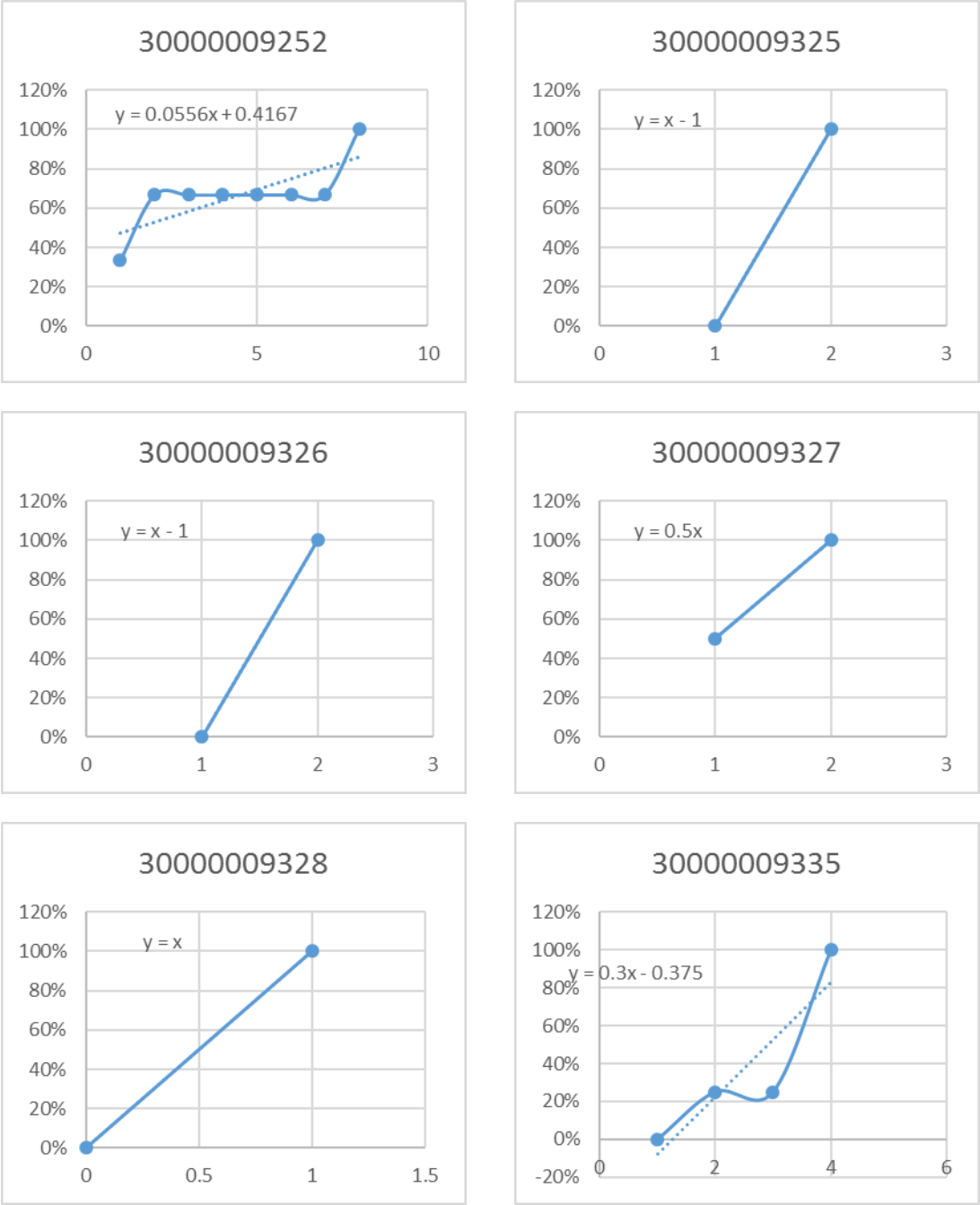
Material	Nombre de articulo
30000009252	REPTO ELECTRONICO
30000009325	REPUESTOS ESTÁTICOS
30000009326	REPUESTOS ESTÁTICOS
30000009327	REPUESTOS ESTÁTICOS
30000009328	REPUESTOS ESTÁTICOS
30000009335	REPUESTOS ESTÁTICOS
30000009364	REPUESTOS DINAMICOS
30000009377	REPUESTOS NEUMATICOS
30000009505	REPUESTOS DINAMICOS
30000009796	REPUESTOS NEUMATICOS
30000009800	REPTO ELECTRONICO
30000009984	REPUESTOS DINAMICOS
30000009986	REPUESTOS DINAMICOS
30000010100	REPUESTOS DINAMICOS
30000010211	REPUESTO ELECTRICO
30000010212	REPUESTO ELECTRICO
30000010214	REPUESTOS NEUMATICOS
30000010364	REPUESTOS NEUMATICOS
30000010376	REPUESTOS NEUMATICOS
30000010628	REPUESTOS ESTÁTICOS
30000010693	REPTO HIDRAULICO
30000010694	REPTO HIDRAULICO
30000010696	REPUESTOS ESTÁTICOS
30000010698	REPUESTOS ESTÁTICOS
30000010710	REPUESTOS DINAMICOS
30000010748	REPTO ELECTRONICO
30000010952	REPUESTO ELECTRICO
30000011118	REPTO ELECTRONICO
30000011239	REPUESTO ELECTRICO
30000011242	REPUESTO ELECTRICO
30000011243	REPUESTOS NEUMATICOS
30000011596	REPTO ELECTRONICO
30000011636	REPTO ELECTRONICO
30000011753	REPTO HIDRAULICO
30000011754	REPTO HIDRAULICO
30000011969	REPUESTOS DINAMICOS
30000012036	REPUESTOS DINAMICOS
30000013202	REPTO HIDRAULICO
30000013206	REPTO HIDRAULICO
30000013207	REPTO HIDRAULICO
30000013208	REPTO HIDRAULICO
30000013209	REPTO HIDRAULICO
30000013217	REPUESTOS NEUMATICOS

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

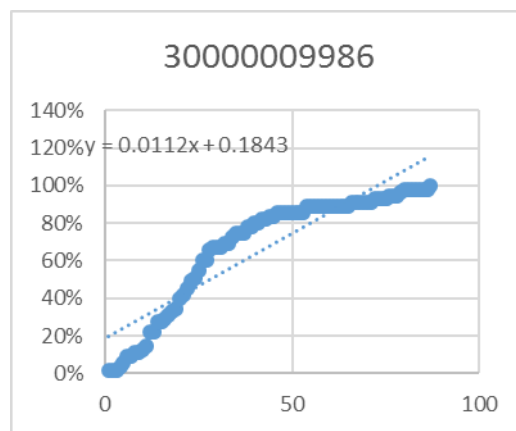
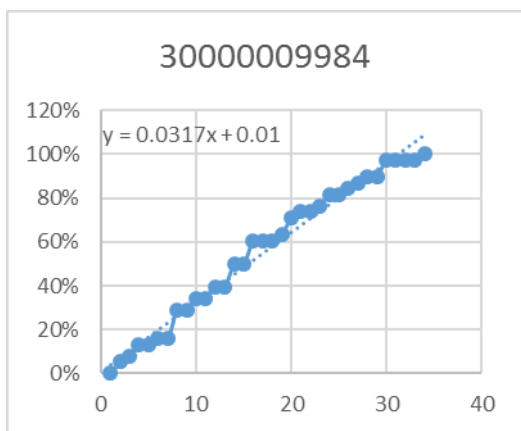
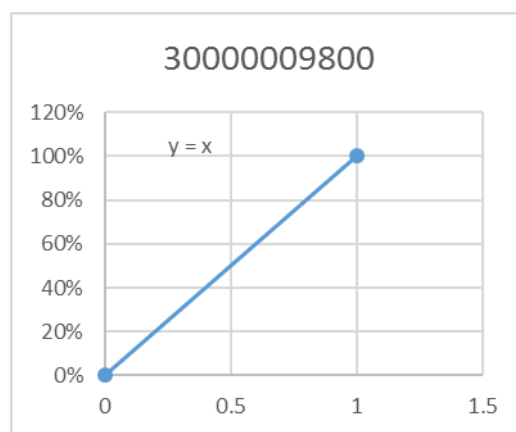
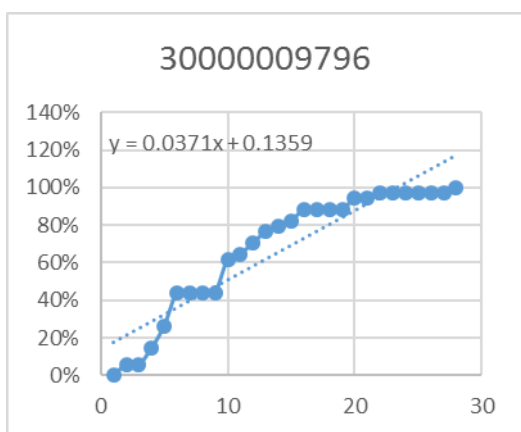
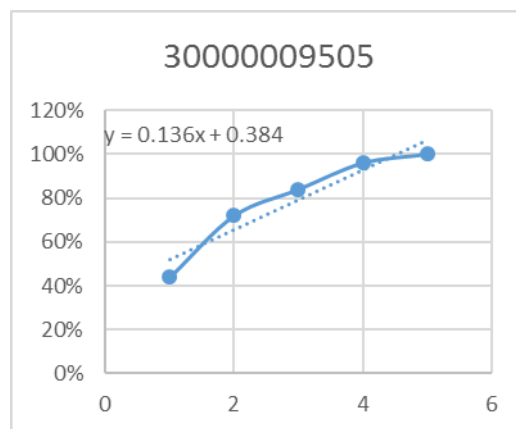
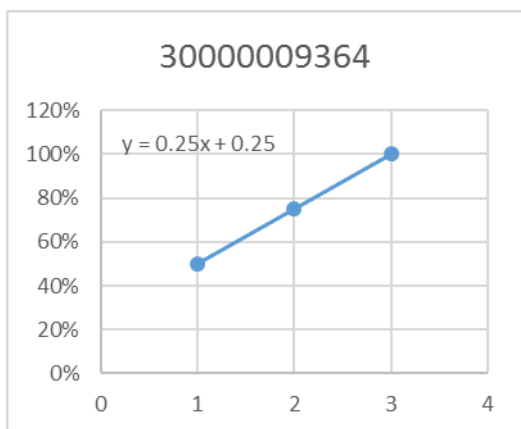
[illegible]

Anexo 3: Comportamiento de los repuestos

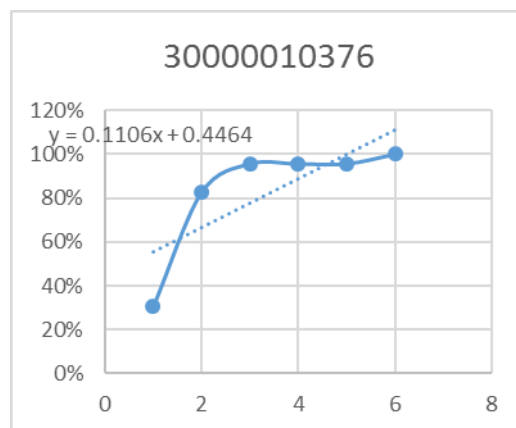
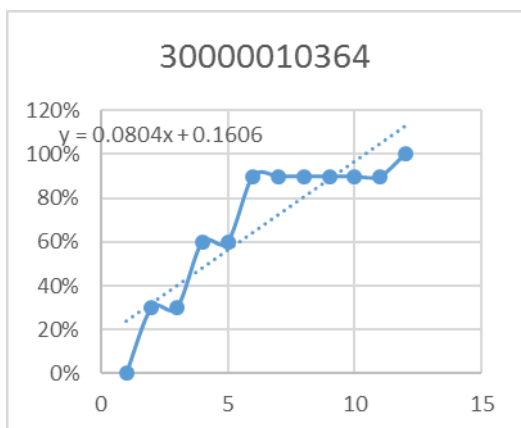
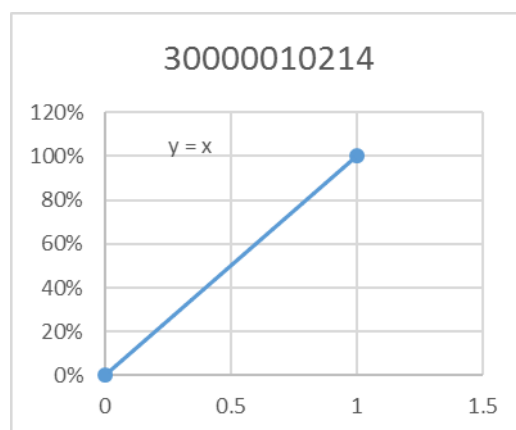
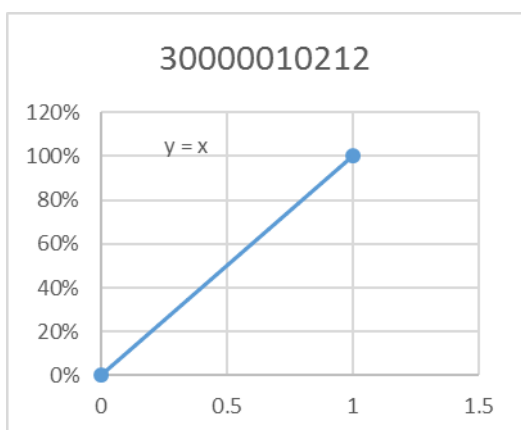
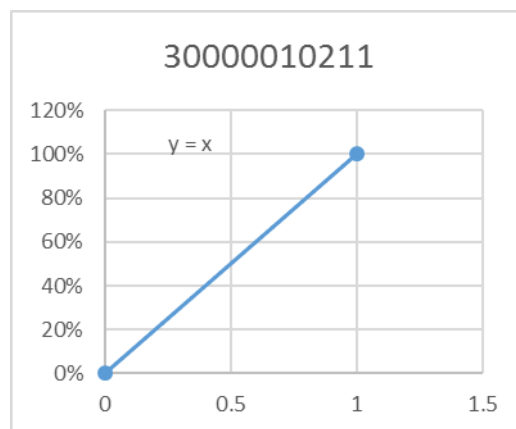
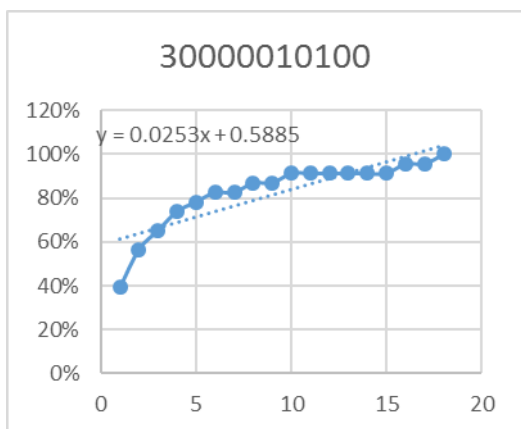


La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

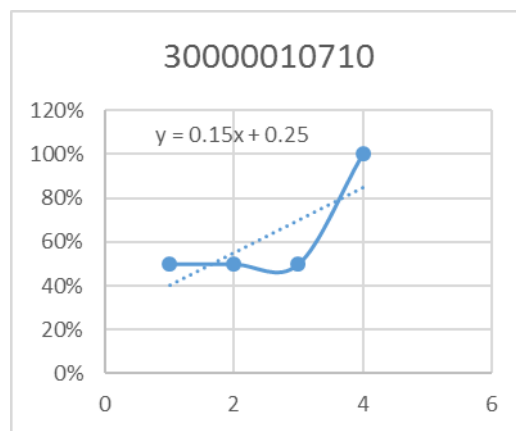
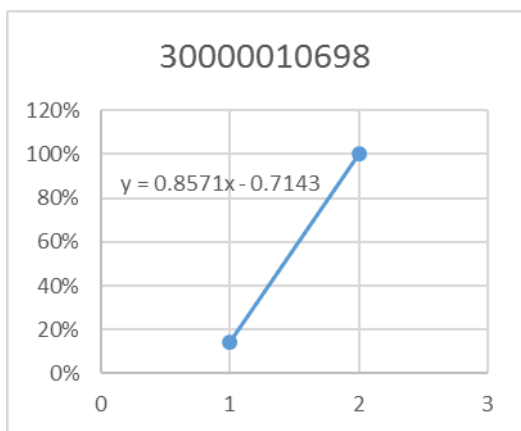
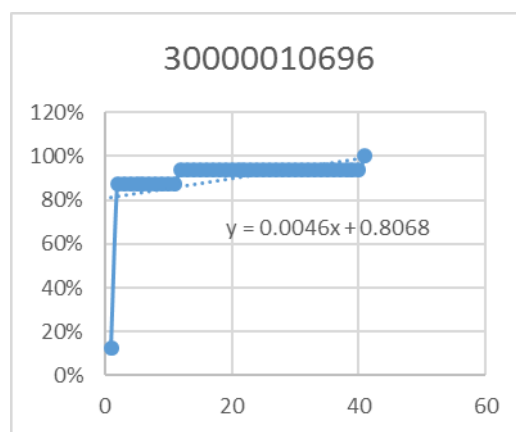
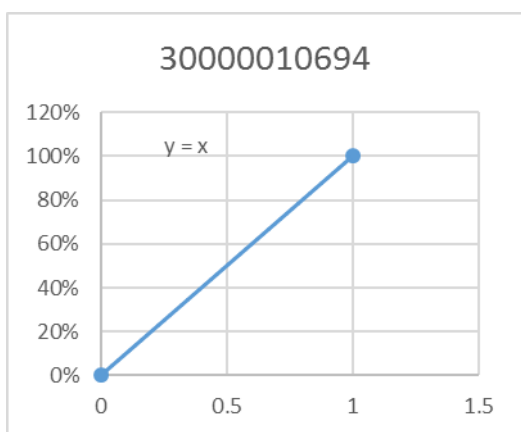
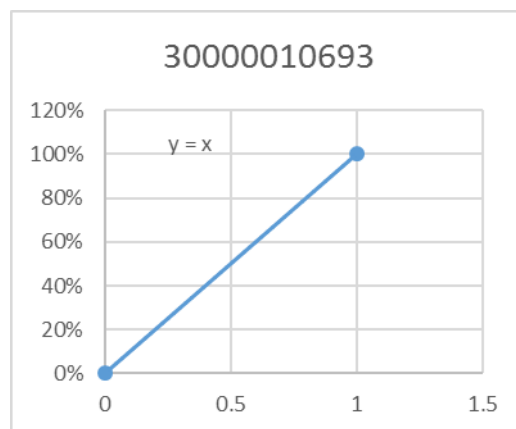
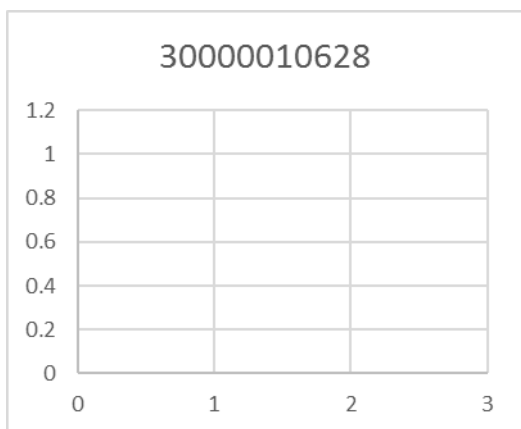




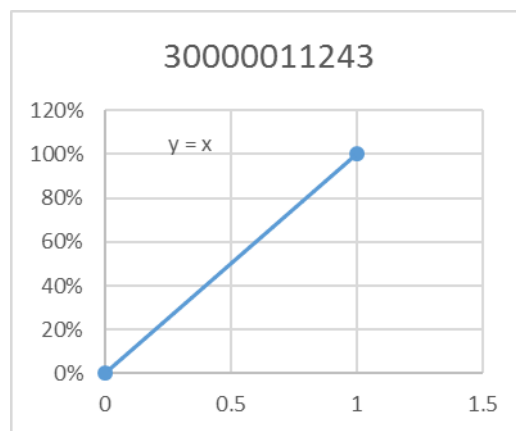
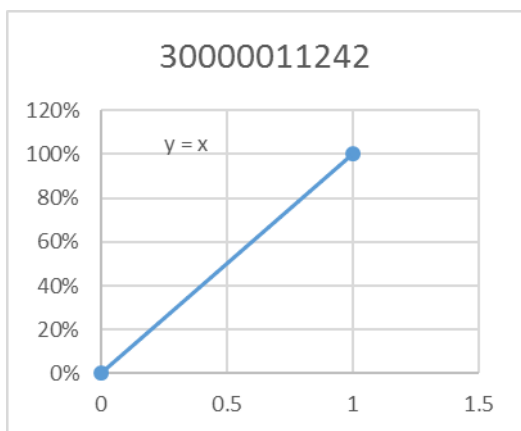
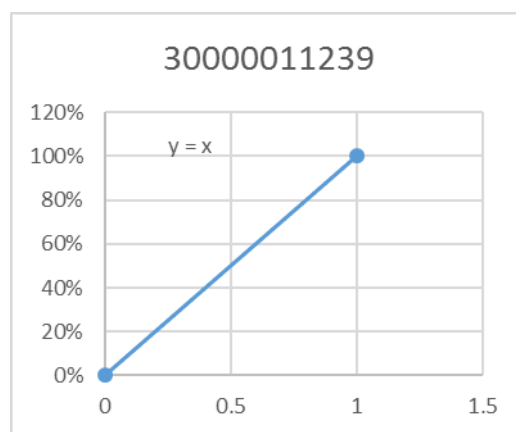
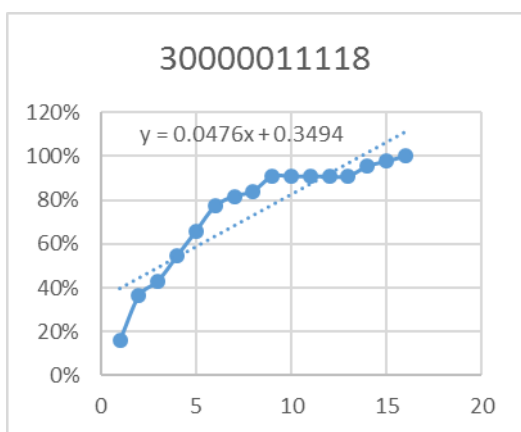
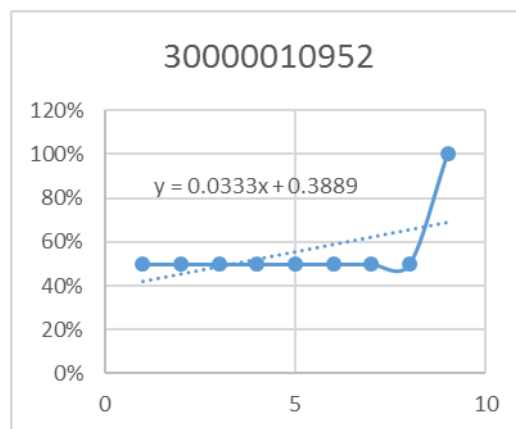
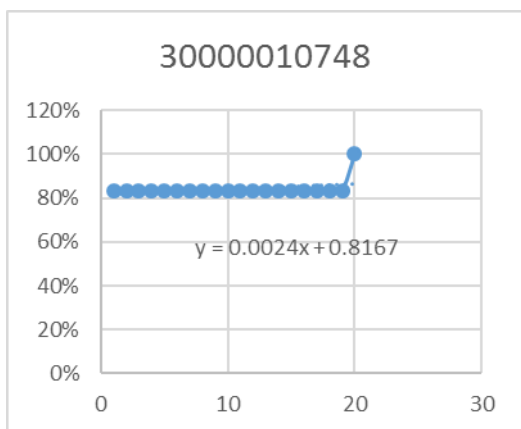
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.



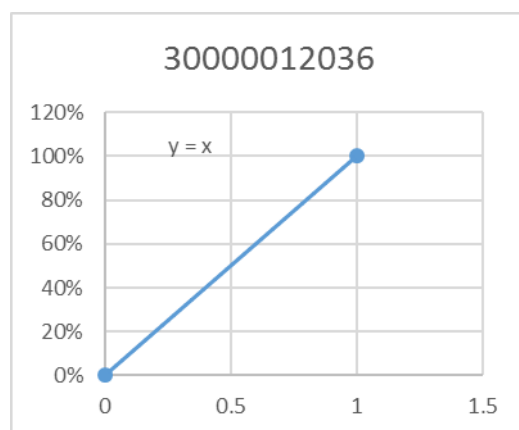
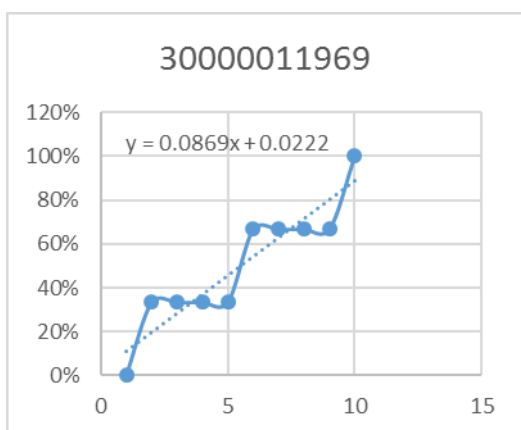
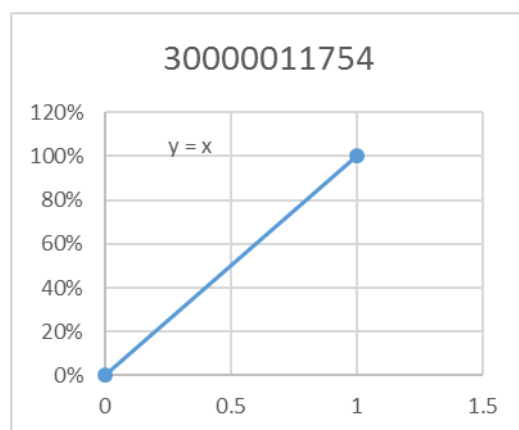
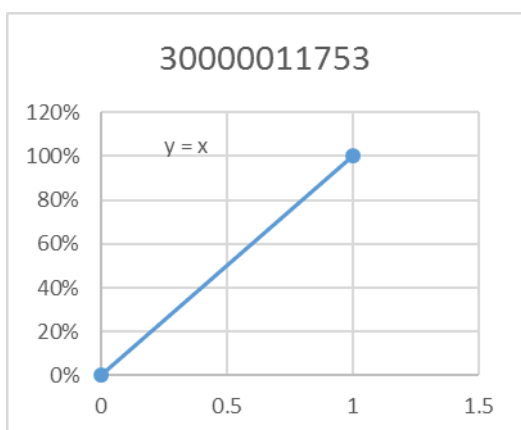
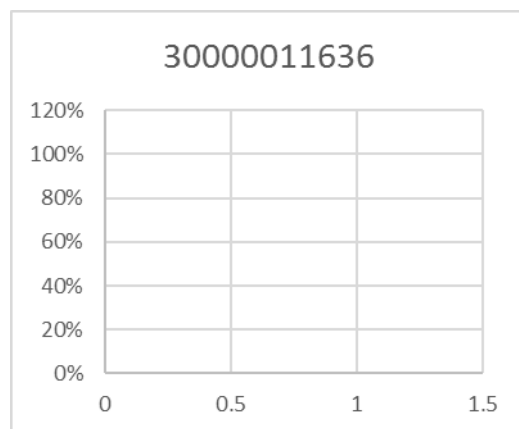
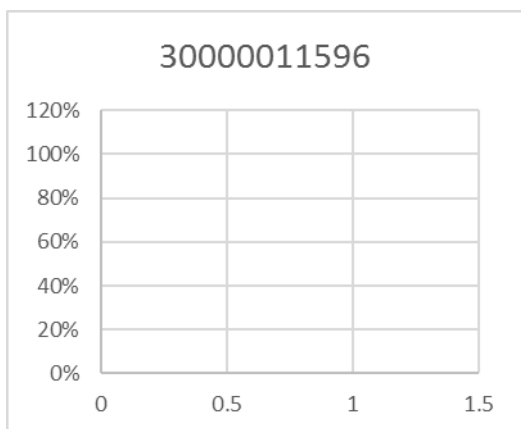
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.



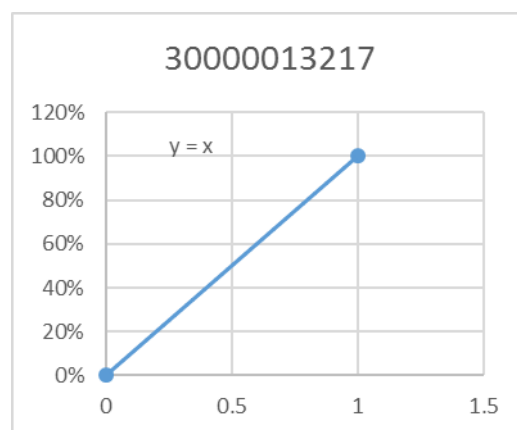
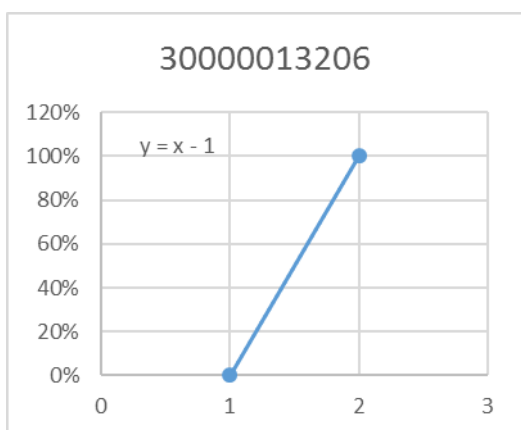
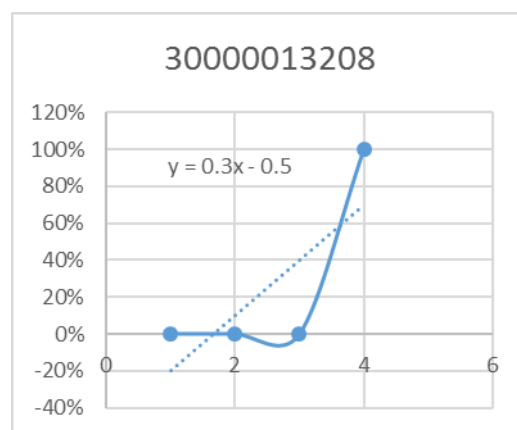
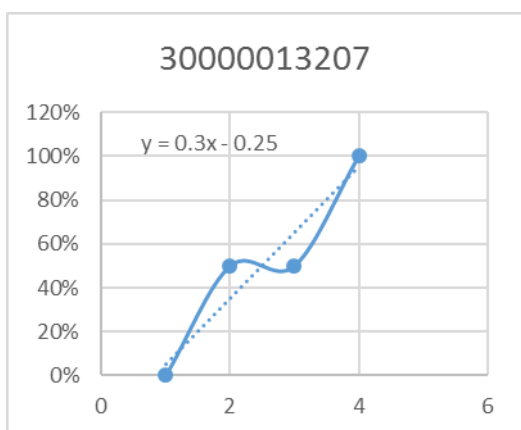
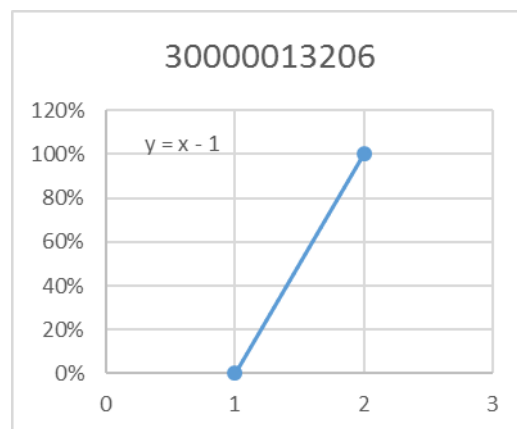
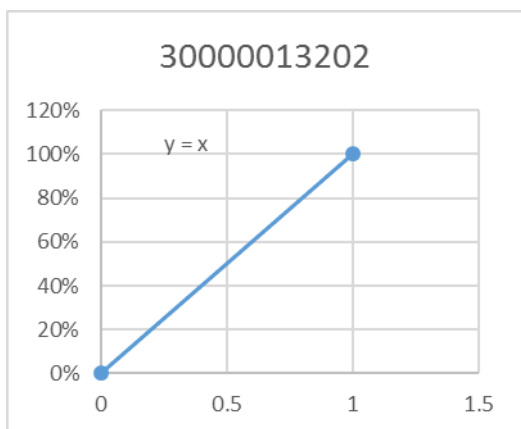
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

## Anexo 4: Plantilla de optimización

VA	3%		Σ CM		Restricción												Σ RA		Σ RA Mod			
CA	23%				\$ 30,198,790		\$ 20,000,000												\$ 10,715,605,130		\$ 2,815,172,268	
Costo/Pieza	52,500																					
Codigo SAP	Tipo de Repuesto	Cant sug PL	Cant Ajustada	Lambda	Cantidad al año	CU	CR	CM LP	CM ajustado	Lead time (horas)	Pdn/hora	Cnv/ hora	CNT	P1	P2	RA	RA Mod					
3000009252	REPTO ELECTRONICO	8	8	21.48	8.0	\$ 103,600.0	\$ 828,800.0	\$ 1,044,288.0	\$ 1,044,288.0	192	416.67	\$ 1,041,667	\$ 200,000,000	43%	93%	\$ 99,535,088.88	\$ -					
3000009325	REPUESTOS ESTÁTICOS	2	2	28.32	2.0	\$ 92,722.0	\$ 185,444.0	\$ 233,659.4	\$ 233,659.4	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	35%	83%	\$ 731,852,065.29	\$ -					
3000009326	REPUESTOS ESTÁTICOS	2	2	28.32	2.0	\$ 456,922.0	\$ 913,844.0	\$ 1,151,443.4	\$ 1,151,443.4	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	35%	83%	\$ 731,852,065.29	\$ -					
3000009327	REPUESTOS ESTÁTICOS	2	2	28.32	2.0	\$ 333,518.0	\$ 667,036.0	\$ 840,465.4	\$ 840,465.4	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	35%	100%	\$ 981,902,065.29	\$ -					
3000009328	REPUESTOS ESTÁTICOS	1	1	18.32	1.0	\$ 2,219,428.0	\$ 2,219,428.0	\$ 2,796,479.3	\$ 2,796,479.3	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	35%	100%	\$ 981,902,065.29	\$ -					
3000009335	REPUESTOS ESTÁTICOS	4	4	24.32	4.0	\$ 24,020.0	\$ 96,080.0	\$ 121,060.8	\$ 121,060.8	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	57%	70%	\$ 273,109,425.06	\$ -					
3000009364	REPUESTOS DINAMICOS	3	3	20.76	3.0	\$ 76,567.0	\$ 229,701.0	\$ 289,423.3	\$ 289,423.3	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	44%	105%	\$ 687,374,805.22	\$ -					
3000009505	REPUESTOS DINAMICOS	15.25	15.25	25.25	81.3	\$ 37,800.0	\$ 3,074,400.0	\$ 726,327.0	\$ 3,873,744.0	144	416.67	\$ 1,041,667	\$ 150,000,000	100%	309%	\$ 314,842,942.50	\$ -					
3000009796	REPUESTOS NEUMATICOS	28	28	15.96	172.3	\$ 7,396.0	\$ 1,274,387.7	\$ 260,930.9	\$ 1,605,728.5	72	416.67	\$ 1,041,667	\$ 75,000,000	100%	118%	\$ 14,026,896.89	\$ -					
3000009800	REPTO ELECTRONICO	0	0	33	0.0	\$ 93,820.0	\$ -	\$ -	\$ -	0	416.67	\$ 1,041,667	\$ -	30%	0%	\$ -	\$ -					
3000009884	REPUESTOS DINAMICOS	34	34	1.66	245.8	\$ 5,761.0	\$ 1,415,956.6	\$ 246,801.2	\$ 1,784,105.3	144	416.67	\$ 1,041,667	\$ 150,000,000	100%	107%	\$ 10,443,796.04	\$ -					
3000009986	REPUESTOS DINAMICOS	0	0	1.18	0.0	\$ 6,748.0	\$ -	\$ -	\$ -	144	416.67	\$ 1,041,667	\$ 150,000,000	100%	18%	\$ 123,579,251.73	\$ 123,579,251.73					
3000010100	REPUESTOS DINAMICOS	0	0	2.82	0.0	\$ 41,000.0	\$ -	\$ -	\$ -	144	416.67	\$ 1,041,667	\$ 150,000,000	99%	47%	\$ 76,786,715.74	\$ 76,786,715.74					
3000010211	REPTO ELECTRICO	1	1	30.36	1.0	\$ 95,199.0	\$ 95,199.0	\$ 119,950.7	\$ 119,950.7	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	33%	100%	\$ 75,695,354.33	\$ -					
3000010212	REPTO ELECTRICO	1	1	25.41	1.0	\$ 393,058.0	\$ 393,058.0	\$ 495,253.1	\$ 495,253.1	1200	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,250,000,000	38%	100%	\$ 779,493,081.26	\$ -					
3000010214	REPUESTOS NEUMATICOS	1	1	3.36	1.0	\$ 786,317.0	\$ 786,317.0	\$ 990,759.4	\$ 990,759.4	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	30%	100%	\$ 782,036,919.45	\$ -					
3000010364	REPUESTOS NEUMATICOS	12	12	36.36	26.9	\$ 47,614.0	\$ 1,279,182.1	\$ 719,923.7	\$ 1,611,769.4	72	416.67	\$ 1,041,667	\$ 75,000,000	89%	114%	\$ 18,861,427.12	\$ -					
3000010376	REPUESTOS NEUMATICOS	0	0	2.79	0.0	\$ 28,576.0	\$ -	\$ -	\$ -	72	416.67	\$ 1,041,667	\$ 75,000,000	99%	24%	\$ 56,050,951.72	\$ 56,050,951.72					
3000010628	REPUESTOS ESTÁTICOS	0	0	0	0.0	\$ 1,313,250.0	\$ -	\$ -	\$ -	192	416.67	\$ 1,041,667	\$ 200,000,000	0%	0%	\$ -	\$ -					
3000010693	REPTO HIDRAULICO	0.071869484	0	15.26	0.0	\$ 12,566,027.0	\$ -	\$ 1,137,923.5	\$ -	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	54%	7%	\$ 708,952,628.34	\$ 708,952,628.34					
3000010694	REPTO HIDRAULICO	1	1	33	1.0	\$ 2,148,471.0	\$ 2,148,471.0	\$ 2,707,073.5	\$ 2,707,073.5	192	416.67	\$ 1,041,667	\$ 200,000,000	30%	100%	\$ 139,028,789.68	\$ -					
3000010696	REPUESTOS ESTÁTICOS	0	0	4.36	0.0	\$ 336,743.0	\$ -	\$ -	\$ -	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	94%	73%	\$ 305,427,891.47	\$ 305,427,891.47					
3000010698	REPUESTOS ESTÁTICOS	1	1	9.35	1.3	\$ 216,050.0	\$ 277,283.4	\$ 272,223.0	\$ 349,377.1	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	72%	38%	\$ 512,868,966.83	\$ 512,868,966.83					
3000010710	REPUESTOS DINAMICOS	4	4	15.01	4.0	\$ 412,860.0	\$ 1,651,440.0	\$ 2,080,814.5	\$ 2,080,814.4	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	55%	90%	\$ 524,352,765.61	\$ -					
3000010748	REPTO ELECTRONICO	0	0	11.23	0.0	\$ 948,837.0	\$ -	\$ -	\$ -	1680	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,750,000,000	66%	67%	\$ 26,601,098.35	\$ -					
3000010952	REPUSTO ELECTRICO	1	1	11.23	1.1	\$ 140,054.0	\$ 149,657.0	\$ 176,468.0	\$ 188,567.8	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	66%	21%	\$ 503,436,793.92	\$ 503,436,793.92					
3000011118	REPTO ELECTRONICO	0	0	1.45	0.0	\$ 81,477.0	\$ -	\$ -	\$ -	72	416.67	\$ 1,041,667	\$ 75,000,000	100%	27%	\$ 54,423,405.86	\$ 54,423,405.86					
3000011239	REPUSTO ELECTRICO	0	0	33	0.0	\$ 2,018,798.0	\$ -	\$ -	\$ -	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	30%	0%	\$ 342,963,080.55	\$ 342,963,080.55					
3000011242	REPUSTO ELECTRICO	1	1	15.03	1.0	\$ 5,267,681.0	\$ 5,267,681.0	\$ 6,637,278.1	\$ 6,637,278.1	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	55%	100%	\$ 675,070,542.94	\$ -					
3000011243	REPUESTOS NEUMATICOS	1	1	33	1.0	\$ 325,785.0	\$ 325,785.0	\$ 410,489.1	\$ 410,489.1	72	416.67	\$ 1,041,667	\$ 75,000,000	30%	100%	\$ 52,135,794.63	\$ -					
3000011596	REPTO ELECTRONICO	0	0	0	0.0	\$ 2,940,176.0	\$ -	\$ -	\$ -	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	0%	0%	\$ -	\$ -					
3000011636	REPTO ELECTRONICO	0	0	0	0.0	\$ 1,965,196.0	\$ -	\$ -	\$ -	1080	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,125,000,000	0%	0%	\$ -	\$ -					
3000011753	REPTO HIDRAULICO	1	1	9.8	1.2	\$ 71,634.0	\$ 87,715.1	\$ 90,258.8	\$ 110,521.0	1560	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,625,000,000	71%	100%	\$ 477,599,874.28	\$ -					
3000011754	REPTO HIDRAULICO	1	1	33	1.0	\$ 202,130.0	\$ 202,130.0	\$ 254,683.8	\$ 254,683.8	1560	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,625,000,000	30%	100%	\$ 1,129,608,883.65	\$ -					
3000011969	REPUESTOS DINAMICOS	10	19	10.7	0.0	\$ 341,183.0	\$ -	\$ 4,298,905.8	\$ -	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	47%	89%	\$ 640,827,225.31	\$ -					
3000012036	REPUESTOS DINAMICOS	1	1	33	1.0	\$ 1,100,000.0	\$ 1,100,000.0	\$ 1,386,000.0	\$ 1,386,000.0	192	416.67	\$ 1,041,667	\$ 200,000,000	30%	100%	\$ 139,028,785.68	\$ -					
3000013202	REPTO HIDRAULICO	1	1	6.58	1.8	\$ 405,513.0	\$ 739,537.4	\$ 510,946.4	\$ 931,817.1	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	84%	100%	\$ 242,139,057.87	\$ -					
3000013206	REPTO HIDRAULICO	1	0	22	0.0	\$ 17,061.0	\$ -	\$ 21,496.9	\$ -	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	42%	33%	\$ 130,682,581.82	\$ 130,682,581.82					
3000013207	REPTO HIDRAULICO	4	4	19.17	4.0	\$ 5,419.0	\$ 21,676.0	\$ 27,311.8	\$ 27,311.8	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	47%	90%	\$ 652,107,225.31	\$ -					
3000013208	REPTO HIDRAULICO	4	4	19.17	4.0	\$ 6,307.0	\$ 25,228.0	\$ 31,787.3	\$ 31,787.3	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	47%	60%	\$ 202,107,225.31	\$ -					
3000013209	REPTO HIDRAULICO	2	2	33	2.0	\$ 31,783.0	\$ 63,566.0	\$ 80,093.2	\$ 80,093.2	1200	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,250,000,000	30%	83%	\$ 660,504,910.50	\$ -					
3000013217	REPUESTOS NEUMATICOS	1	1	19.17	1.0	\$ 30,374.0	\$ 30,374.0	\$ 38,271.2	\$ 38,271.2	1440	416.67	\$ 1,041,667	\$ 1,500,000,000	47%	100%	\$ 802,107,225.31	\$ -					

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la Universidad EIA.